



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**VYBRANÉ HYDROFYZIKÁLNÍ PARAMETRY JAKO  
INDIKÁTORY KVALITY PŮDY**

SELECTED HYDROPEDOLOGICAL PARAMETERS AS INDICATORS OF SOIL QUALITY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

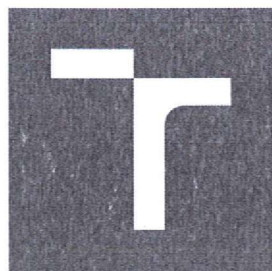
**Šárka Schneiderová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.**

**BRNO 2017**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVISŤE	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Šárka Schneiderová
NÁZEV	Vybrané hydrofyzikální parametry jako indikátory kvality půdy
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Jandák, J. (2003) Cvičení z půdoznalectví, 1. vydání. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 92 str., ISBN 978-80-7157-733-1.

Dexter, A.R. (2004b): Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120, 201-214.

Kameníčková, I. (2013): BS06 - Návod do cvičení - Hydropedologie. Elektronická verze studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia, VUT FAST v Brně.

Kutílek, M. (1978): Pedologie, SNTL/ALFA, Praha, 295 str.

Kutílek, M., Kuráž, V., Císlerová, M. (1993): Hydropedologie. Skriptum ČVUT, Praha, 176 str., ISBN 80-01-02237-4.

Kutílek, M., Nielsen, D.R. (1994): Soil Hydrology, Catena Verlag, Cremlingen-Drestedt, Germany.

Články v domácích a zahraničních odborných časopisech

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Bakalářská práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bude zohledněna problematika hydrofyzikálních vlastností půdy, které se používají jako indikátory kvality půdy. V praktické části bude zhodnocen vliv použité agrotechnologie na zdraví svrchní vrstvy půdy ve vybraném zájmovém území, a to na základě vybraných parametrů uváděných v naší i zahraniční odborné literatuře. Ty budou stanoveny standardními laboratorními metodami z odebraných porušených a neporušených vzorků půdy.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



**Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.**

Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Svrchní vrstva zemědělské půdy je vždy důležitá pro správný růst rostlin, vzniká v ní kořenový systém, který odtud čerpá vodu a nacházejí se zde nezbytné živiny ve formě humusu. Kvalitu svrchní vrstvy můžeme posoudit pomocí parametrů jako např. fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti či obsah humusu. Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na problematiku stanovení zmíněných vlastností půdy. Cílem praktické části této bakalářské práce je hodnocení zdraví svrchní vrstvy půdy v konkrétní lokalitě pomocí vybraných parametrů uváděných v naší a zahraniční literatuře. Ty budou stanoveny standardními laboratorními metodami z odebraných porušených a neporušených vzorků půdy. Porušené a neporušené půdní vzorky byly odebírány v lokalitě Šardičky (okres Vyškov) celkem čtyřikrát během vegetačního období roku 2016.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

fyzikální vlastnosti půdy, objemová hmotnost redukováná, pórovitost, momentální vlhkost, provzdušenost, organická hmota, hydraulická vodivost, minimalizační technologie zpracování půdy

## **ABSTRACT**

When it comes to agriculture's soil, the near surface layer is one of the most important layers for proper planting and their growth. It is the place where root system absorbs water and necessary nutrient are found here in the soil organic matter form. We can measure the near surface soil quality using indicators, such as physical and hydro-physical properties or soil organic matter content. The theoretical part of the bachelor thesis is focused on measuring those properties of soil, where the practical part's objective is judging the effect of agrotechnology, based on the properties described in Czech and foreign literature. Those properties will be determined by using standard laboratory methods testing intact soil cores and grabbed soil samples. Those cores and samples were collected 4 times in total during vegetation period in 2016 in Šardičky (Vyškov district).

## **KEYWORDS**

physical properties of soil, bulk density of the soil, porosity, actual water content of soil, aeration, soil organic matter, saturated hydraulic conductivity, minimization technology of soil cultivation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Šárka Schneiderová *Vybrané hydrofyzikální parametry jako indikátory kvality půdy*. Brno, 2017. 46 s., 11 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

---

Šárka Schneiderová  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucí Ing. Ivaně Kameníčkové Ph.D. za pomoc a rady při zpracování této bakalářské práce a vstřícný přístup při konzultacích. Také děkuji rodině, která mě ve studiu vždy podporovala.

# Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>4</b>
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Odběr půdních vzorků .....</b>	<b>5</b>
1.1.1 Kopaná sonda, polosonda .....	5
1.1.2 Porušené půdní vzorky .....	6
1.1.3 Neporušené půdní vzorky .....	6
<b>1.2 Fyzikální vlastnosti půdy.....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Zrnitost.....	7
1.2.2 Zdánlivá hustota pevných částic.....	11
1.2.3 Struktura půdy a vodostálost agregátů.....	12
<b>1.3 Rozbor neporušeného půdního vzorku .....</b>	<b>17</b>
1.3.1 Objemová hmotnost.....	18
1.3.2 Pórovitost.....	20
1.3.3 Momentální vlhkost.....	21
1.3.4 Vlhkost 30' .....	22
1.3.5 Nasákivost .....	22
1.3.6 Maximální kapilární vodní kapacita podle Nováka.....	22
1.3.7 Retenční vodní kapacita podle Drbala .....	23
1.3.8 Provzdušenost.....	23
1.3.9 Maximální vzdušná kapacita půdy .....	24
1.3.10 Retenční vzdušná kapacita půdy.....	24
<b>1.4 Nasycená hydraulická vodivost .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 Obsah organických látek.....</b>	<b>26</b>
<b>2 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 Charakteristika území .....</b>	<b>28</b>
2.1.1 Popis lokality .....	28
2.1.2 Klimatické poměry .....	28
2.1.3 Hydrologické poměry .....	29
2.1.4 Technologie obdělávání půdy.....	29
<b>2.2 Odběr vzorků .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3 Fyzikálních vlastností půdy - výsledky měření a vyhodnocení.....</b>	<b>30</b>
2.3.1 Zrnitostní rozbor .....	30
2.3.2 Zdánlivá hustota pevných částic.....	31
2.3.3 Struktura půdy a vodostálost agregátů.....	31



<b>2.4 Rozbor neporušeného půdního vzorku - výsledky měření a vyhodnocení .....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Objemová hmotnost redukováná .....	33
2.4.2 Pórovitost.....	33
2.4.3 Momentální vlhkost .....	34
2.4.4 Maximální kapilární vodní kapacita .....	35
2.4.5 Provzdušenost.....	35
<b>2.5 Nasycená hydraulická vodivost - výsledky měření a vyhodnocení.....</b>	<b>36</b>
<b>2.6 Obsah organických látek - výsledky měření a vyhodnocení .....</b>	<b>37</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>40</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>42</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>43</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>44</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>46</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>47</b>

## Úvod

Půda je přírodou vytvořený útvar, který vzniká spolupůsobením pedogenetických faktorů na styku litosféry s atmosférou nebo hydrosférou. Pedogenetické faktory abiotické jsou mateční substrát, reliéf terénu, podnebí a podzemní voda. Mezi biotické faktory patří činnost člověka a působení organismů. Pedogenetické faktory ovlivňují pedogenetické procesy, jimiž jsou zvětrávání, přeměny (rašelinění, humifikace) a vznik nových látek, přemísťování rozpuštěných látek a půdních koloidů. [2]

Kvalitu a zdraví půdy lze hodnotit na základě fyzikálních, chemických (fyzikálně-chemických) a biologických charakteristik, [9] které stanovujeme přesně danými metodami přímo v terénu nebo v laboratorních podmínkách. Na základě všech měřených vlastností vyhodnotíme a posoudíme celkové zdraví půdy. Dále je možné na základě půdních rozborů stanovit, které vlastnosti půdy je nutné zlepšit a navrhnout vhodné agrotechnické opatření.

Zdraví půdy se významně podílí na růstu a vývoji rostlin, tedy na kvalitě i kvantitě pěstovaných plodin. Následná konzumace těchto plodin ovlivňuje i zdraví člověka, proto bychom tématu kvality půdy měli věnovat pozornost.

## **Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je posouzení zdraví svrchní vrstvy půdy, která byla obdělávána minimalizační agrotechnologií. Teoretická část je zaměřena na problematiku hydrofyzikálních vlastností půdy, které se používají jako indikátory kvality půdy. Jsou zde uvedeny jednotlivé hydrofyzikální vlastnosti a popis metodiky jejich určování. V praktické části je hodnocena kvalita svrchní vrstvy hlinité půdy na základě vybraných parametrů popsanych v teoretické části. Zkoumaná lokalita se nachází v blízkosti obce Šardičky v okrese Vyškov. Experimentální výzkum byl zahájen v roce 2016 a dále pokračuje.

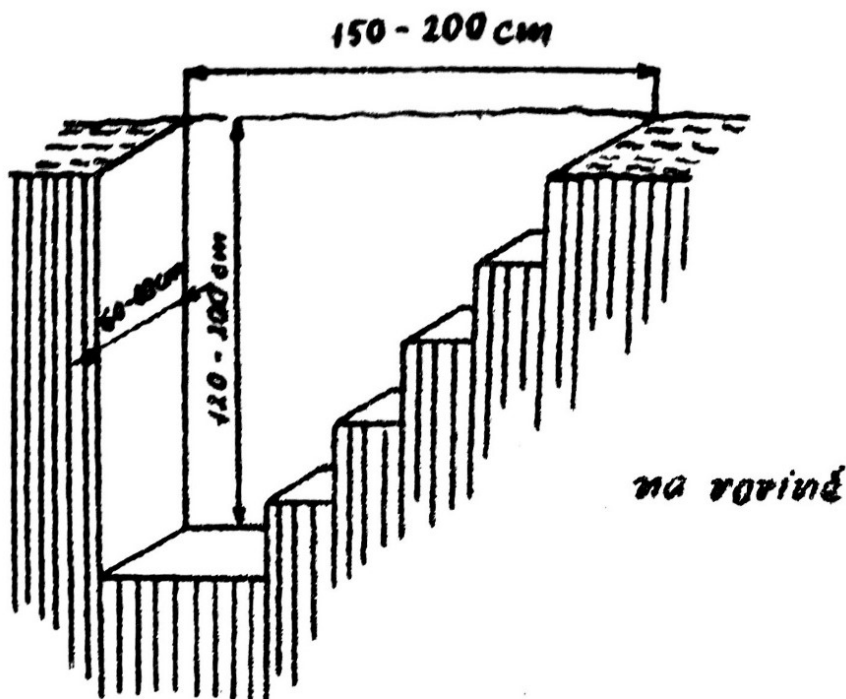
# 1 Teoretická část

## 1.1 Odběr půdních vzorků

Vzorky pro určení hydrofyzikálních vlastností půdy odebíráme z kopané sondy nebo polosondy. Při hydropedologickém průzkumu také využíváme pátrací tyče, sondovací tyče a půdní vrtáky. Množství odebraných vzorků závisí na počtu plánovaných rozborů. [4]

### 1.1.1 Kopaná sonda, polosonda

Kopaná sonda má obdélníkový půdorys o rozměru 60 x 150 cm (případně 80 x 200 cm). Hloubku sondy volíme dle měřených půdních horizontů, pohybuje se od 120 do 200 cm. Všechny stěny jsou kolmé ke dnu sondy a při výkopu ukládáme zeminu humusových horizontů odděleně od zeminy ze spodiny. Orientaci čelní stěny volíme naproti slunci a protější stěnu kopeme stupňovitě, čímž vytvoříme přístupové schody na dno sondy. [5]



Obrázek 1.1: Kopaná sonda [5]

Na čelní stěně jsou viditelné mocnosti a charakter jednotlivých horizontů (barva, struktura, skeletovitost, trhliny, prokořenění, biologické oživení atd.), tyto informace zapíšeme do polního půdního záznamu. [4]

Polosonda je výkopová jáma menších rozměrů, je vhodná při odběru vzorků z menších hloubek. Většinou není nutné tvořit schodovitý vstup, ale sonda musí poskytovat dostatečný prostor pro pohodlné odebírání vzorků.

### 1.1.2 Porušené půdní vzorky

Porušené půdní vzorky odebíráme polní lopatkou a ukládáme je do předem popsanych sáčků. Odběr z čela sondy provádíme ze středů jednotlivých horizontů směrem odspoda nahoru, aby nedošlo k promíchání vzorků jednotlivých vrstev. Sáčky s porušenými půdními vzorky odvezeme do laboratoře, kde je otevřené necháme volně vysychat. [5]

Porušené půdní vzorky používáme pro rozbor pedologických vlastností, které nejsou závislé na uložení zeminy. Mezi tyto vlastnosti patří zrnitost, vodostálost agregátů, zdánlivá hustota pevných částic, obsah humusu a další chemické vlastnosti.

### 1.1.3 Neporušené půdní vzorky

Půdní vzorky neporušené odebíráme do Kopeckého fyzikálních válečků o objemu  $100\text{ cm}^3$ , které po odběru ihned uzavřeme víčky, aby vzorky nevysychaly. Kopeckého válečky jsou vyrobeny z nerezavějící oceli a na spodním okraji mají ostrou hranu kvůli snazšímu zatlačování válečku do půdy.

Vzorky odebíráme z čela sondy směrem odshora dolů. Lopatkou odstraníme vrstvu půdy nad místem plánovaného odběru, čímž vytvoříme rovnou plošku. Válečky osazené nástavcem svisle vtlačujeme (popřípadě opatrně zatloukáme) do zeminy, dokud protlačená zemina nepřesahuje horní hranu válečku přibližně o 1 cm. Následně pomocí polní lopatky vyjmeme Kopeckého váleček ze zeminy a nožem ořízneme přečnívající část vzorku tak, abychom jej neporušili. Takto odebraný vzorek uzavřeme víčky a převezeme do laboratoře.

Neporušené půdní vzorky používáme ke stanovení objemově hmotnostních, vodních a vzdušných charakteristik půdy.[4]



Obrázek 1.2: Kopeckého válečky pro odběr neporušených půdních vzorků

## 1.2 Fyzikální vlastnosti půdy

### 1.2.1 Zrnitost

Zrnitost je fyzikální vlastnost, která vyjadřuje procentuální zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v půdě. Zrnitostní frakce je skupina částic, které mají stejnou velikost. Jejich poměr významně ovlivňuje další půdní vlastnosti. K zatřídění půdy do zrnitostní kategorie je třeba provést zrnitostní rozbor, k němuž používáme jemnozem I, což jsou částice menší než 2 mm. Pokud je v půdě obsaženo více než 10 % částic, které jsou větší než 2 mm je třeba provést stanovení skeletu. [5]

#### *Metody zrnitostního rozboru*

##### *Sítový rozbor*

Sítový rozbor je metoda kdy půdu proséváme přes sadu sít, která jsou seskládána nad sebou podle velikosti ok (od největších nahoře po nejmenší dole). Zvážením zůstatků na sítích dostaneme hmotnostní zastoupení jednotlivých frakcí, které pak postupně sčítáme a vynášíme do grafu, vytvoříme tak křivku zrnitosti. Tato metoda se používá pro hrubé zeminy a při stanovení skeletu. Pro důkladné oddělení jednotlivých částecek je třeba prosévat zeminu ve vodě, ovšem již při prosévání na sítu o průměru oka 0,1 mm dochází k obtížím, protože jemnější částecčky ulpívají na výpletu sít. Proto se pro rozbor frakcí malých částeckek používají nepřímé metody sedimentační. [2, 4]



Obrázek 1.3: Sada sít pro sítový rozbor

### *Sedimentační metody*

Sedimentační metody jsou založeny na principu fyzikálních zákonů o závislosti sedimentační rychlosti na velikosti částic.

Sedimentační zákon je vyjádřen pomocí Stokesova vztahu:

$$v = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho_z - \rho_0)}{\eta} = ar^2 \text{ [cm.s}^{-1}\text{]} \quad (1.2.1.1)$$

kde  $v$  ... sedimentační rychlost [cm.s<sup>-1</sup>]

$g$  ... tíhové zrychlení [cm.s<sup>-2</sup>]

$\rho_s$ ... zdánlivá hustota pevných částic [g.cm<sup>-3</sup>]

$\rho_0$ ... hustota disperzního prostředí [g.cm<sup>-3</sup>]

$\eta$  ... viskozita disperzního prostředí [g.cm<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>]

$a$  ... konstanta pro sedimentaci zemitých částic při teplotě 20 °C [cm<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>]

$r$  ... poloměr částice [cm].

Stokesův vztah platí pouze pro sedimentaci v klidné kapalině vymezené Reynoldsovým číslem  $Re < 1$  pro kulové částice s poloměrem  $0,001 \text{ mm} < r < 0,08 \text{ mm}$ . [2]

Hustoměrná metoda s nepřerušovanou sedimentací (A. Casagrande) slouží ke stanovení zrnitosti půdních částic  $< 0,06 \text{ mm}$ . V sedimentačním válci během usazování měříme hustotu suspenze, která je základem pro stanovení jednotlivých frakcí a následně pro konstrukci kumulativní zrnitostní křivky.



**Obrázek 1.4: Hustoměr**

Po preparaci suspenzi vpravíme do sedimentačního válce o objemu 1000 cm<sup>3</sup> a doplníme destilovanou vodou. Minutu před začátkem sedimentace suspenzi promícháme, v okamžiku vyjmutí míchadla začíná počátek měření.

Okamžitě po začátku sedimentace do suspenze vložíme hustoměr tak, aby hruška neulpívala na stěně válce. Hustota čteme na horním menisku, tisíce zapisujeme jako celky. Naměřené hodnoty zaznamenáváme do formuláře. Dobu sedimentace měříme v časových intervalech 30 sekund, 1,2,5,15,45 minut a 2,5,24 hodin. Po 3-4 měřeních vyjmeme hustoměr z válce, opláchneme a znovu jej opatrně vnoříme do válce minutu před dalším měřením.

Během sedimentace měříme teplotu s přesností  $\pm 0,2$  °C. Podle horizontální stupnice nomogramu vyhledáme příslušnou teplotní korekci. [4]

### *Kombinovaná metoda*

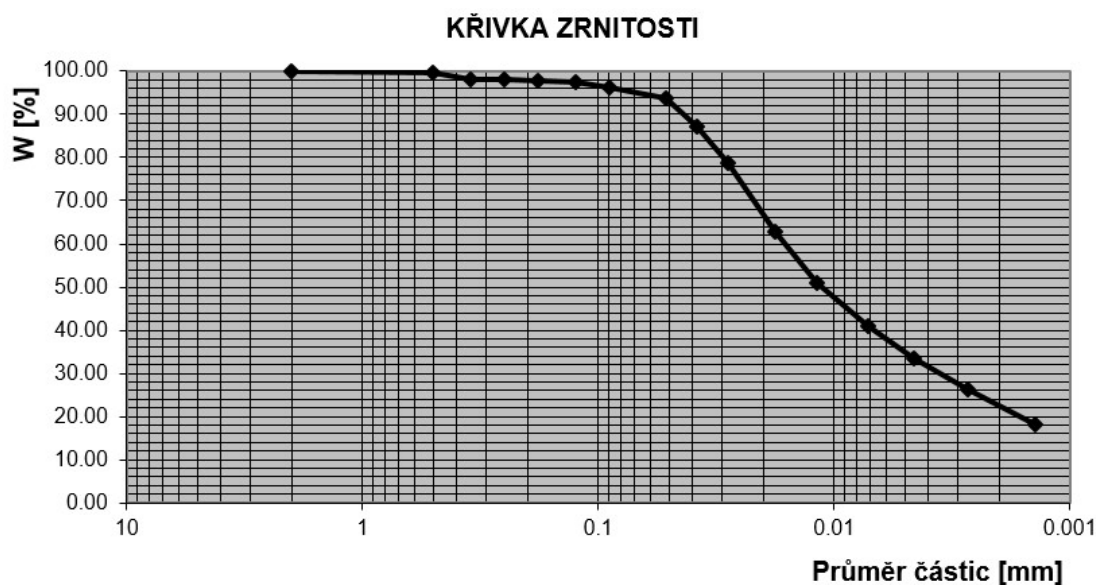
Kombinovaná metoda zrnitostního rozboru zahrnuje síťový rozbor a hustoměrnou metodu. Nejprve provedeme síťový rozbor, kterým lze klasifikovat pouze zrna o velikosti větší než 0,06 mm. Pro menší částice používáme hustoměrnou zkoušku. Pro určení velikostí částic na základě dob sedimentace a vykreslení křivky zrnitosti (z dat sedimentační zkoušky i síťového rozboru) lze použít soubor MSO Excel, který vytvořil Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998. [4]

### *Další metody zrnitostního rozboru*

- Vypalovací metoda pomocí plavícího aparátu Kopeckého
- Dekantační metoda (opakovaná sedimentace)
- Pipetovací metoda (neopakovaná sedimentace) [2]

### *Křivka zrnitosti*

Výsledek zrnitostního rozboru zaznamenáváme pomocí zrnitostní křivky. Křivka zrnitosti je součtová křivka, která vyjadřuje hmotnostní podíl jednotlivých zrnitostních frakcí na celkové hmotnosti zeminy. Na svislé ose grafu znázorňujeme hmotnostní procenta, na vodorovné ose velikost částíček v mm.



Obrázek 1.5: Zrnitostní křivka (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998)

### *Klasifikace půdy na základě zrnitostního rozboru*

#### *Klasifikace dle Nováka*

Podle Nováka se základní název zeminy určí podle zastoupení částic I. kategorie (částice o průměru < 0,01 mm) ve vzorku jemnozemě I. Upřesňující označení se stanoví dle ostatních vlastností zeminy, např. zastoupení štěrku, obsahu uhličitánů, humusu apod. Do zrnitostní kategorie dle Nováka (uvedené v následující tabulce) můžeme zařadovat pouze půdy, které obsahují méně než 50 % skeletu. [4]



**Tabulka 1.1: Zrnitostní kategorie dle Nováka [4]**

obsah částic < 0,01 mm [% hm.]	označení půdního druhu	základní půdní druhy
0	písek	lehká půda
0-10	písčitá	
10-20	hlinitopísčitá	
20-30	písčitohlinitá	střední půda
30-45	hlinitá	
45-60	jílovitohlinitá	těžká půda
60-75	jílovitá	

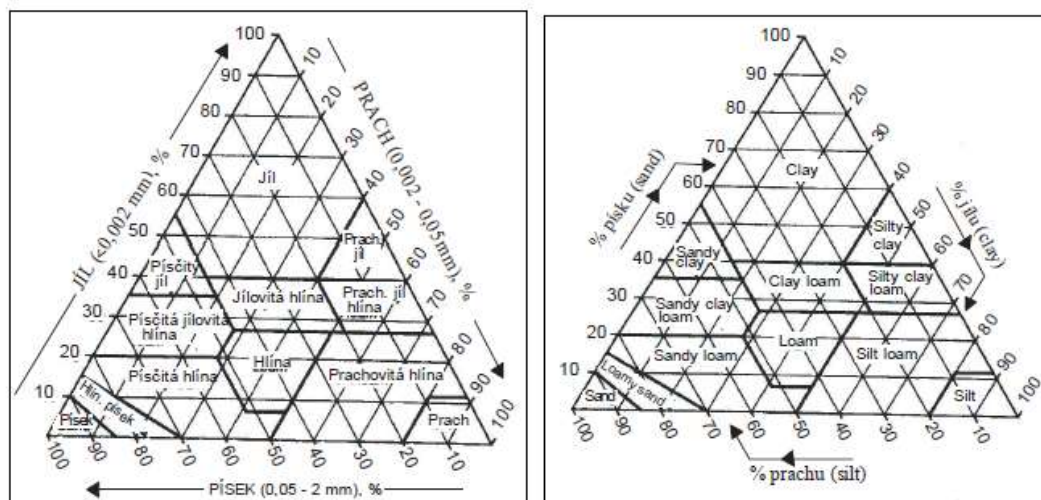
### *Taxonomický klasifikační systém půd ČR (USDA)*

Taxonomický klasifikační systém půd ČR používá systém převzatý z Ministerstva zemědělství USA (USDA – United States Department of Agriculture).

**Tabulka 1.2: Taxonomický klasifikační systém půd ČR – USDA [4]**

Název frakce	průměr částic [mm]
jíl	<0,002
prach	0,002-0,05
písek	0,05-2,0
(velmi jemný písek	(0,05-0,1
jemný písek	0,1-0,25
střední písek	0,25-0,5
hrubý písek	0,5-1,0
velmi hrubý písek)	1,0-2,0)

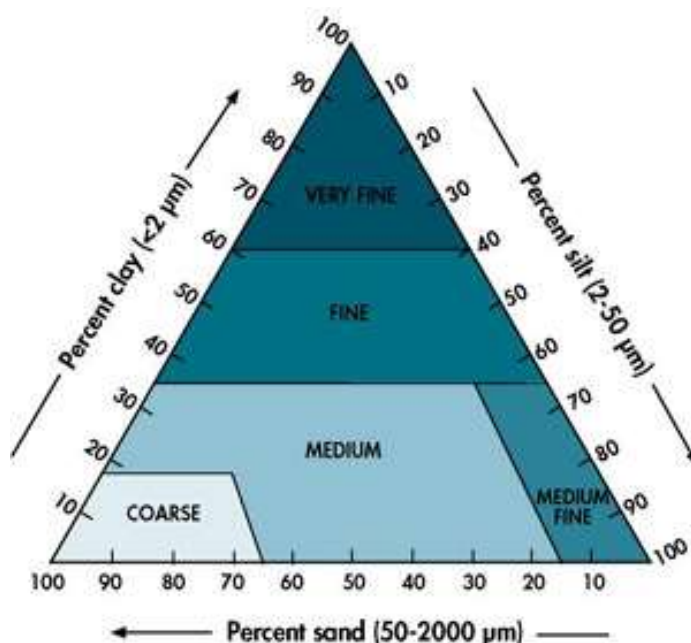
Pomocí trojúhelníkového diagramu USDA jsme schopni stanovit půdní druh na základě obsahu jílu, prachu a písku udávaných v procentech hmotnostních. Dle klasifikace USDA je možné rozlišovat celkem 12 půdních druhů.



**Obrázek 1.6: Trojúhelníkový diagram USDA [4]**

### *Klasifikační systém FAO*

Klasifikační systém FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations), podobně jako taxonomický klasifikační systém půd ČR (USDA), používá trojúhelníkový diagram, pomocí něhož zatřídíme zeminu dle procentuálního zastoupení částic jílu, prachu a písku. [7]



Obrázek 1.7: Trojúhelníkový diagram FAO [7]

### **1.2.2 Zdánlivá hustota pevných částic**

Měrná hmotnost neboli zdánlivá hustota pevných částic udává poměr hmotnosti pevných částíček půdy k jejich objemu. Je to uměle vytvořený stav, kdy se v měřeném objemu nevyskytují žádné póry. Stanovujeme ji pyknometrickou metodou. [4]

Průměrná zdánlivá hustota pevných částic minerálních půd činí  $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ , což je hodnota měrné hmotnosti křemene, který je v ČR velmi hojně zastoupen. U organických půd může tato hodnota pohybovat kolem  $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ , u rašelin i méně. [1]

#### ***Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic ve vodních pyknometrech***

Do porcelánové misky navážíme 10 g jemnozemě I, doplníme destilovanou vodou, vaříme po dobu 3-10 minut. Vařením se vypudí vzduch, odpařenou vodu doplňujeme. Pyknometr naplníme až po hrdlo převařenou destilovanou vodou, zátku necháme volně zapadnout, temperujeme ve vodní lázni na teplotu  $20^\circ\text{C}$ . Pyknometr osušíme, provedeme kontrolu (pod zátkou nesmí zůstat bublina) a pak jej zvážíme. Vylijeme vodu z pyknometru, zchlazenou suspenzi přelijeme beze ztrát do pyknometru a doplníme až po hrdlo destilovanou převařenou vodou, temperujeme na  $20^\circ\text{C}$ , osušíme a zvážíme. [4]

Následně provedeme výpočet objemu naváženého vzorku:

$$V_v = P_v + N_s - P_s \quad [\text{cm}^3] \quad (1.2.2.1)$$

kde  $V_v$  ... objem naváženého vzorku [ $\text{cm}^3$ ]  
 $P_v$  ... hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g]  
 $P_s$  ... hmotnost pyknometru se suspenzí [g]  
 $N_s$  ... navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu (pokud použijeme zeminu vysušenu přepočet neprovádíme) [g].

Zdánlivou hustotu pevných částic vypočítáme pomocí vzorce:

$$\rho_s = \frac{N_s}{V_v} = \frac{N_s}{P_v + N_s - P_s} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (1.2.2.2)$$

kde  $\rho_s$  ... zdánlivá hustota pevných částic [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]  
 $V_v$  ... objem naváženého vzorku [ $\text{cm}^3$ ]  
 $P_v$  ... hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g]  
 $P_s$  ... hmotnost pyknometru se suspenzí [g]  
 $N_s$  ... navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu (pokud použijeme zeminu vysušenu přepočet neprovádíme) [g].

### 1.2.3 Struktura půdy a vodostálost agregátů

#### *Struktura půdy*

Struktura půdy popisuje vzájemné prostorové uspořádání částic v půdě. Částice se vyskytují v půdě převážně ve formě menších či větších shluků, které nazýváme agregáty. [1]

Půdy sypké, písčité a kamenité suti agregáty nevytvářejí. [2]

Agregáty dělíme podle velikosti na makroagregáty o průměru větším než 0,25 mm a mikroagregáty, které mají průměr menší než 0,25 mm. Vznik půdní struktury je podmíněn vznikem mikroagregátů v půdě, které se vytvářejí souběžně se vznikem půdních částic. [1]

K mikroagregátům patří zkoagulované půdní koloidy, což jsou útvary vzniklé spojením jílovitých a prachovitých částec s huminovými kyselinami, dále hrubé půdní částčky a krystaly s koloidním povlakem. Mikrostruktura tedy vzniká díky koagulaci půdních koloidů. [2]

Agregáty jsou ve vodě stabilní, což je způsobeno různými tmelícími látkami jako je například humus nebo jílovité minerály (montmorillonit) ve spojení s organickým tmelem. Stabilitu agregátů stanovujeme zkouškou vodostálosti. [1]

Makroagregáty vznikají zvětšováním mikroagregátů a jejich shlukováním do větších celků v důsledku objemových změn v půdě (vysycháním, mrazem). Dále jejich vznik ovlivňuje působení kořenového systému rostlin a půdní zooedafon. [1]

Umělým mechanickým zhutňováním půdní hmoty za vyšší vlhkosti dochází ke shlukování, popřípadě k deformaci shluků a vznikají nové útvary – pseudoagregáty. [2]

### ***Klasifikace půdní struktury***

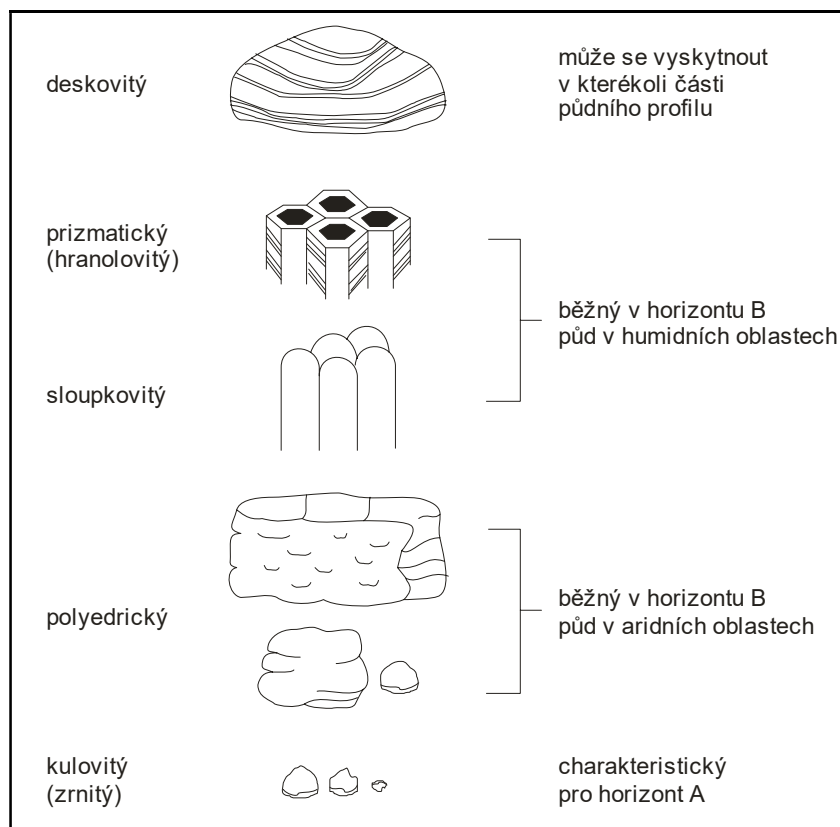
Strukturu půdy můžeme klasifikovat na základě stupně jejího vývoje a podle tvaru a vlastností půdních agregátů. Musíme brát v úvahu i obecné vlastnosti půdní struktury, a to především stabilitu makroagregátů a mikroagregátů, charakter látek způsobujících stabilitu, vzájemné uspořádání částic a amorfních látek v agregátech, genezi (zákony a podmínky vzniku) agregátů. Dále je třeba zohlednit vlastnosti a způsob vzniku pórů, a to jak uvnitř agregátů, tak mezi nimi. [2]

Půdy dle stupně vývoje struktury dělíme do tří skupin, a to půdy nestrukturní, půdy se slabě vyvinutou strukturou a půdy strukturní.

- Půdy nestrukturní, u kterých nejsou patrné agregáty, půdní hmota může být rozdrobena do náhodných útvarů – pseudoagregátů, popřípadě je půda rozsypavá (např. písčité půdy) a nevytváří ani pseudoagregáty, pokud se i přesto v půdě vyskytnou, jsou ve vodě nestabilní, rozplavují se a vytvářejí stejnorodou kašovitou hmotu. [2]
- U půd se slabě vyvinutou strukturou lze pozorovat agregáty až při rozdrobování urýpnutých hrud. Podíl nestrukturního materiálu převládá. [2]
- Půdy strukturní mají velmi dobře vyvinutou strukturu. Agregáty se od sebe snadno oddělují, jsou pevné a ve vodě zcela stabilní. [2]

Půdy dle tvaru agregátů dělíme do čtyř tříd. Jednotlivé třídy dále dělíme podle struktury, která se liší velikostí či detailem vzhledu.

- 1. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, tvar zaoblený. V této třídě je zahrnuta struktura hrudovitá, drobtovitá, zrnitá a práškovitá. [2]
- 2. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, plochy a hrany jsou zřetelné. Zde řadíme strukturu kostková a polyedrickou. [2]
- 3. třída – agregát je protažen ve směru svislé osy. 3. třída zahrnuje strukturu prizmatickou a sloupkovitou. [2]
- 4. třída – agregát je protažen ve směrech vodorovných os. Zde se vyskytuje struktura deskovitá a lístkovitá. [2]



Obrázek 1.8: Hlavní strukturní typy v minerálních půdách (upraveno podle Brady) [3]

### ***Vodostálost agreátů***

Zkouška vodostálosti je metoda pro posouzení stability agreátů.

Stabilita půdních agreátů se nejjednodušeji stanovuje přímým pozorováním agreátů náhle ponořených do destilované vody. V obdobích této metody je možné také na agreáty působit kapkami vody dopadajícími ve stejných časových intervalech, popřípadě se agreáty zvlhčují nepřímou přes filtrační papír. Agreáty stabilní při působení vody zůstávají nerozrušeny. Agreáty málo stabilní se postupně rozpadají zčásti na menší útvary a zčásti na kašovitou půdní hmotu. Pseudoagreáty se okamžitě po kontaktu s vodou rozplynou do kašovité hmoty. [2]

### ***Zkouška vodostálosti podle Andrianova***

Do misky s plochým dnem umístíme skleněnou desku, na kterou položíme filtrační papír s 50 nakreslenými čtverečky o stranách délky 1 cm. Ze vzorku vysušeného na vzduchu pomocí sít oddělíme agreáty velikosti 3 až 5 mm a rozmístíme je do 50 čtverečků. Do misky nalijeme destilovanou vodu tak, aby se nasýtil filtrační papír a tím došlo ke kapilárnímu nasycení agreátů, což trvá asi jednu minutu. Potom agreáty opatrně přelijeme vodou do výšky 1 cm. Zapisujeme počet rozplavených agreátů v intervalu po 1 minutě a po 10 minutách zapíšeme počet polorozpadlých agreátů. [5]

**Tabulka 1.3: Tabulka pro výpočet vodostálosti dle Adrianova [6]**

doba pozorování	počet rozplavených agregátů	koef. vodostálosti	$n_i \cdot k_i$
[min]	$n_i$	$k_i$	
1		5	
2		15	
3		25	
4		35	
5		45	
6		55	
7		65	
8		75	
9		85	
10		95	
polorozpadlé agregáty		50	
nerozpadlé agregáty	50-(počet rozpadlých za 10 min)- (počet polorozpadlých/2)=	100	
suma součinů			$\Sigma(n_i \cdot k_i)$

Výpočet vodostálosti:

$$v = \frac{\Sigma(n_i \cdot k_i)}{\Sigma \text{ agregátů}} \quad [\%] \quad (1.2.3.1)$$

kde  $V \dots$  vodostálost [%]

$\Sigma(n_i \cdot k_i) \dots$  suma součinů počtu agregátů a koeficientu vodostálosti [-]

$\Sigma \text{ agregátů} \dots$  celkový počet zkoumaných agregátů, zde  $\Sigma \text{ agregátů} = 50$  [-].

#### *Zkouška vodostálosti přístrojem na mokré prosévání*

Přesnější metodou pro stanovení stability agregátů je měření přístrojem pro mokré prosévání. Do tohoto přístroje vložíme 8 sít s daným množstvím agregátů. Ty jsou střídavě ponořovány a vytahovány z vody v nastavených časových intervalech, rozpadlé agregáty propadávají síty do nádoby pod síty. [10]

Přístroj pro mokré prosévání můžeme vidět na obrázku 1.9.



Obrázek 1.9: Přístroj na mokré prosívání [10]

## Vliv stupně vývoje struktury na povrchový horizont

Stupeň vývoje struktury v povrchovém horizontu půdy značně ovlivňuje vlastnosti půdy její úrodnost.

Tabulka 1.4: Porovnání vlastností půd se strukturním a nestrukturním povrchovým horizontem [2]

vlastnost	půda	
	strukturní	nestructurní
soudržnost	menší	větší
obdělávatelnost	snadnější	nesnadnější
objemová hmotnost	menší	větší
kvalita pórů	lepší	horší
infiltrace	vysoká	nízká
povrchový odtok	nízký	vysoký
výpar	menší	větší
hospodaření vláhou	dobré	špatné
provzdušenost	dobrá	nedostatečná
ohřívá se	rychle	pomalu
počátek vegetačního období	časný	zpožděný
biologická činnost	přiměřená	nevhodná
chem. procesy ve vlhkém období	vhodné	převažuje redukce
živinný režim	přiměřený	zhoršený
ohrožení erozí	menší	větší

### 1.3 Rozbor neporušeného půdního vzorku

Neporušený půdní vzorek obsahuje půdu v jejím původním uložení. Reprezentuje tedy skutečný stav půdního horizontu a z rozboru takového vzorku můžeme určit objemovou hmotnost, vodní a vzdušné charakteristiky půdy.

Vzorek vážíme v různých vlhkostních stavech a naměřené hmotnosti zaznamenáváme do formuláře.

**Tabulka 1.5: Formulář pro záznam stanovených hmotností [4]**

Stanovení	symbol	výpočet	jednotka
Momentální vlhkost	$\theta$	$(G_A - G_F)$	% obj.
Nasáklivost	$\theta_{ns}$	$(G_B - G_F)$	% obj.
Vlhkost 30'	$\theta_{30}$	$(G_C - G_F)$	% obj.
Max. kap. vodní kapacita	$\theta_{MKK}$	$(G_D - G_F)$	% obj.
Retenční vodní kapacita	$\theta_{RVK}$	$(G_E - G_F)$	% obj.
Zdánlivá hustota pevných částic	$\rho_s$	$N_S / (N_S + P_V - P_S)$	$\text{g.cm}^{-3}$
Sušina	$G_H$	$G_F - (G_V + G_S)$	g
Objemová hmotnost	$\rho_d$	$G_H / V_S$	$\text{g.cm}^{-3}$
Celková pórovitost	$P$	$(\rho_s - \rho_d) \cdot 100 / \rho_s$	% obj.
Kapilární pórovitost	$P_K$	$\theta_{RVK}$	% obj.
Nekapilární pórovitost	$P_N$	$P - \theta_{30}$	% obj.
provzdušenost	$V_Z$	$P - \theta_{mom}$	% obj.
Max. kap. vzdušná kapacita	$K_{MKKvz}$	$P - \theta_{MKK}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	$K_{RVKvz}$	$P - \theta_{RVK}$	% obj.

kde	$G_A$	...	vzorek s přirozenou vlhkostí [g]
	$G_B$	...	vzorek kapilárně nasycený [g]
	$G_C$	...	vzorek po 30' odsávání [g]
	$G_D$	...	vzorek po 2 hodinách odsávání [g]
	$G_E$	...	vzorek po 24 hodinách odsávání [g]
	$G_F$	...	vzorek při vysušení při 105 °C [g]
	$G_H$	...	čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g]
	$G_V$	...	hmotnost fyzikálního válečku [g]
	$G_S$	...	hmotnost hodinového skla [g]
	$N_S$	...	navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic [g]
	$P_V$	...	hmotnost pyknometru s vodou [g]
	$P_S$	...	hmotnost pyknometru se zeminou [g]
	$V_S$	...	objem fyzikálního válečku [ $\text{cm}^3$ ]



Po přesunu do laboratoře z Kopeckého válečku sejmeme ochranná víčka a vzorek zvážíme (momentální vlhkost). [4]

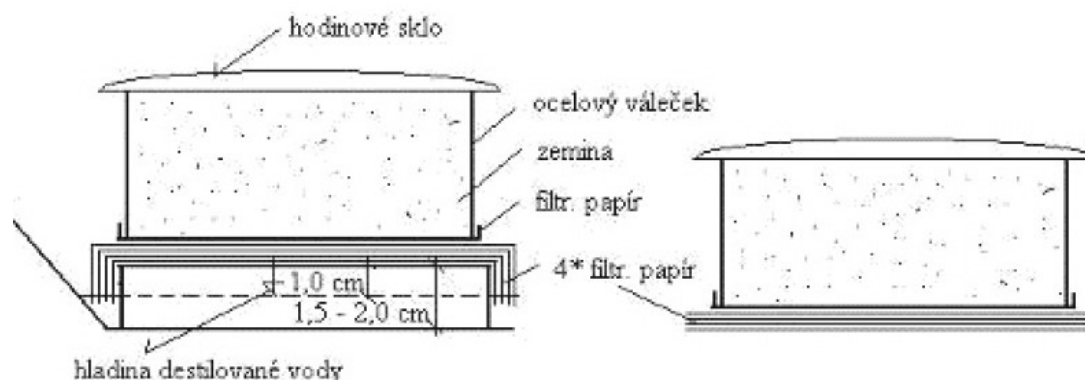
Nejprve vzorek necháme kapilárně nasytit destilovanou vodou pomocí 4 vrstev filtračního papíru. Vzorek položíme na filtrační papíry (částečně ponořené do destilované vody) stranou s břitem a horní stranu zakryjeme hodinovým sklem, abychom zabránili výparu. Takto necháme vzorek nasycovat po dobu 24 hodin (bobtnavé vzorky s obsahem jílových minerálů až 72 hodin). Poté vzorek sesunutím do strany sejmeme z filtračních papírů a opět zvážíme (nasáklivost). [4]

Váleček znovu postavíme na vrstvu 4 filtračních papírů a zakryjeme hodinovým sklem. V tuto chvíli začíná odsávání vody ze vzorku. Zvážení vzorku po 30 minutách dostáváme hodnotu pro výpočet vlhkosti 30'. [4]

Vzorek opět umístíme na filtrační papíry. Zvážíme po 2 hodinách odsávání od doby plného kapilárního nasycení, což znamená 90 minut od předchozího měření. Tuto hodnotu hmotnosti použijeme pro výpočet maximální kapilární vodní kapacity podle Nováka. [4]

Vodu ze vzorku odsáváme dalších 22 hodin (24 hodin od plného kapilárního nasycení) a naměřenou hodnotu hmotnosti použijeme ke stanovení přibližné retenční vodní kapacity. [4]

Vzorek vysušíme do konstantní hmotnosti při 105 °C a opět zvážíme, tuto hodnotu použijeme pro určení hmotnosti sušiny. [4]



Obrázek 1.10: Rozbor neporušeného půdního vzorku [4]

### 1.3.1 Objemová hmotnost

Objemovou hmotnost půdy v přirozeném uložení vypočítáme jako podíl hmotnosti vzorku zeminy a jeho objemu.

Vzorek odebraný do Kopeckého válečku po převozu do laboratoře zvážíme a vysušíme při 105 °C do konstantní hmotnosti, necháme vychladnout v exikátoru a opět zvážíme.

#### *Objemová hmotnost neredukovaná*

Objemová hmotnost neredukovaná vyjadřuje okamžitý stav, zahrnuje tedy i vodu obsaženou v půdě. Je to veličina závislá na okamžité vlhkosti.

Objemovou hmotnost redukovanou počítáme podle vztahu:

$$\rho_v = \frac{G_a}{V_s} \quad [g \cdot cm^{-3}] \quad (1.3.1.1)$$

kde  $\rho_v$  ... objemová hmotnost neredukovaná [ $g \cdot cm^{-3}$ ]

$G_a$  ... vzorek s přirozenou vlhkostí [g]

$V_s$  ... objem Kopeckého válečku [ $cm^3$ ].

### **Objemová hmotnost reduková**

Objemovou hmotnost redukovanou měříme až po vysušení vzorku při 105 °C. Charakterizuje stálé vlastnosti půdy a její hodnota se s hloubkou zvětšuje. Objemovou hmotnost redukovanou vypočítáme pomocí vztahu:

$$\rho_d = \frac{G_F}{V_s} \quad [g \cdot cm^{-3}] \quad (1.3.1.2)$$

kde  $\rho_d$  ... objemová hmotnost reduková [ $g \cdot cm^{-3}$ ]

$G_F$  ... hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g]

$V_s$  ... objem Kopeckého válečku [ $cm^3$ ].

Na základě hodnot objemové hmotnosti můžeme posoudit stav strukturního horizontu dle následující tabulky.

**Tabulka 1.6: Přibližné hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle objemové hmotnosti [2]**

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost [ $g \cdot cm^{-3}$ ]
výborný	1,2
dobrý	1,2-1,4
nevyhovující	1,4-1,6
nestrukturní půda	1,6-1,8

Kritické hodnoty stanovené pro jednotlivé půdní druhy jsou uvedeny v tabulce 1.7.

**Tabulka 1.7: Kritické hodnoty objemové hmotnosti podle Lhotského [4]**

Půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
OHR kritická	1,35	1,40	1,45	1,55	1,60	1,70

## 1.3.2 Pórovitost

### *Pórovitost*

Pórovitost vyjadřuje zastoupení pórů (prostor mezi pevnou fází vyplněný vzduchem nebo vodou) v půdě v přirozeném uložení. Při zvyšování vlhkosti se pórovitost zvětšuje, při vysychání půdy naopak zmenšuje. [4] Hodnotu pórovitosti vypočítáme dle vztahu:

$$P = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} * 100 \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.2.1)$$

kde P... celková pórovitost [% obj.]

$\rho_s$  ... zdánlivá hustota půdních částic [g.cm<sup>-3</sup>]

$\rho_d$  ... objemová hmotnost redukována [g.cm<sup>-3</sup>].

Na základě pórovitosti můžeme klasifikovat ulehlost ornice a podorničí dle následující tabulky.

**Tabulka 1.8: Klasifikace půdy podle pórovitosti podle Bretfelda [2]**

pórovitost půd lehkých [%]	označení ulehlosti	pórovitost půd středně těžkých a těžkých [%]
ornice		
> 65	kyprá	> 65
65-50	mírně ulehlá	65-55
50-40	ulehlá	55-45
< 40	velmi ulehlá	< 45
spodina		
> 50	kyprá	> 57
50-43	mírně ulehlá	57-46
43-35	ulehlá	46-35
< 35	velmi ulehlá	< 35

Příliš nízká hodnota pórovitosti indikuje zhutnění půdy. Kritické hodnoty pórovitosti pro jednotlivé půdní druhy najdeme v níže uvedené tabulce.

**Tabulka 1.9: Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského [4]**

půdní druh	J	JV,JH	H	PH	HP	P
kritická P	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

## **Typy pórů**

Pro kvalitu půdy je také důležité rozložení jednotlivých typů pórů.

*Kapilárními póry* je voda schopna vzlínat, tedy pohybovat se směrem proti gravitaci. Velké zastoupení kapilárních pórů znesnadňuje infiltraci a zvyšuje povrchový odtok, naopak při nedostatku těchto pórů půda nedokáže zadržet potřebné množství vody pro rostliny. [4]

*Semikapilární póry* jsou přechodem mezi kapilárními a nekapilárními póry. Dochází v nich k ustalování hladiny, voda díky nim lépe proniká do půdy a dokáže nasytit kapilární póry do větší hloubky. [4]

*Nekapilární póry* jsou prostory, ze kterých voda odtéká gravitačně. Při nadbytku těchto pórů voda rychle proudí vrstvou půdy bez možnosti nasycení kapilárních pórů a odteče z dosahu kořenů. [4]

Kapilární póry by měly optimálně tvořit 2/3 pórovitosti, zbytek by měl být rovnoměrně rozdělen mezi póry semikapilární a nekapilární. [4]

### **1.3.3 Momentální vlhkost**

Vlhkost vyjadřuje zastoupení kapalné fáze v půdě. Nejjednodušeji ji stanovíme vážením vzorku před a po vysušení při 105 °C do konstantní hmotnosti.

Momentální vlhkost vyjadřuje okamžité zastoupení vody v půdě v době odběru neporušeného vzorku. Tato hodnota je velmi proměnlivá, je závislá na srážkovém úhrnu, teplotách, výparu, spotřebě rostlinami a dalších vlivech. Je také ovlivněna hladinou podzemní vody.

#### **Objemová vlhkost:**

$$\theta = \frac{V_W}{V_S} \cdot 100 \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.3.1)$$

kde  $\theta$ ... objemová vlhkost [% obj.]

$V_S$  ... objem vzorku [cm<sup>3</sup>]

$V_W$ ... objem vody ve vzorku [cm<sup>3</sup>].

#### **Hmotnostní vlhkost:**

$$w = \frac{M_W}{M_Z} \cdot 100 \quad [\% \text{ hm.}] \quad (1.3.3.2)$$

kde  $w$ ... hmotnostní vlhkost [% hm]

$M_Z$  ... hmotnost vzorku [g]

$M_W$ ... hmotnost vody ve vzorku [g].

### 1.3.4 Vlhkost 30'

Vlhkost 30' vyjadřuje kolik vody je schopna půda zadržet po 30 minutách odsávání filtračním papírem z původně plně nasyceného vzorku. Během těchto prvních 30 minut bývá zaznamenán výrazný pokles vlhkosti. Tuto hodnotu vypočítáme dle vztahu:

$$\theta_{30} = G_C - G_F \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.4.1)$$

kde  $\theta_{30}$  ... vlhkost 30' [% obj.]

$G_C$  ... hmotnost vzorku po 30 minutách odsávání [g]

$G_F$  ... hmotnost vzorku vysušeného při 105 °C [g].

### 1.3.5 Nasákklivost

Nasákklivost vyjadřuje maximální možné zaplnění pórů při kapilárním nasycení půdy, počítáme ji pomocí vzorce:

$$\theta_{ns} = G_B - G_F \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.5.1)$$

kde  $\theta_{ns}$  ... nasákklivost [% obj.]

$G_B$  ... hmotnost vzorku kapilárně nasyceného [g]

$G_F$  ... hmotnost vzorku vysušeného při 105 °C [g].

### 1.3.6 Maximální kapilární vodní kapacita podle Nováka

Maximální kapilární vodní kapacita vyjadřuje schopnost půdy zadržovat vodu. Tato schopnost je charakterizována jako množství vody, které dokáže půda zadržet v kapilárních pórech po 2 hodinách odsávání vody z původně plně nasycené půdy. Pokud je momentální vlhkost půdy vyšší než tato hodnota, dochází k zamokření a při zavlažování k nadměrným ztrátám. [4] Maximální kapilární vodní kapacitu počítáme pomocí vzorce:

$$\theta_{MKK} = G_D - G_F \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.6.1)$$

kde  $\theta_{MKK}$ ... maximální kapilární vodní kapacita [% obj.]

$G_D$  ... hmotnost vzorku po 2 hodinách odsávání [g]

$G_F$ ... hmotnost vzorku vysušeného při 105 °C [g].

### 1.3.7 Retenční vodní kapacita podle Drbala

Retenční vodní kapacita vyjadřuje maximální množství vody, které půda dokáže zadržet kapilárními silami po 24 hodinách odsávání z původně plně nasycené půdy. Je to téměř rovnovážný stav mezi gravitační silou a kapilárními silami. [6]

Retenční vodní kapacitu počítáme podle vzorce:

$$\theta_{RVK} = G_E - G_F \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.7.1)$$

kde  $\theta_{RVK}$ ... retenční vodní kapacita [% obj.]

$G_E$  ... hmotnost vzorku po 24 hodinách odsávání [g]

$G_F$ ... hmotnost vzorku vysušeného při 105 °C [g].

### 1.3.8 Provzdušenost

Provzdušenost vyjadřuje okamžitý obsah vzduchu v půdě, je to rozdíl mezi pórovitostí a vlhkostí půdy. Obsah vzduchu v půdě ovlivňuje chemické reakce v půdě a je také důležitý pro růst rostlin.

Provzdušenost počítáme dle následujících vztahů:

$$V_Z = \frac{V_A}{V_S} \cdot 100 = P - \theta \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.8.1)$$

kde  $V_Z$ ... provzdušenost [% obj.]

$V_S$  ... objem vzorku [cm<sup>3</sup>]

$V_A$ ... objem vzduchu ve vzorku [% obj.]

$P$  ... pórovitost [% obj.]

$\theta$  ... okamžitá vlhkost [% obj.].

Optimální hodnota provzdušenosti pro pole se pohybuje od 18 % do 24 % obj. V případě poklesu provzdušenosti pod hodnotu 10 % obj. je nutné provést vhodné agrotechnické opatření. [5]

### 1.3.9 Maximální vzdušná kapacita půdy

Maximální vzdušná kapacita půdy vyjadřuje, kolik procent pórů je vyplněno vzduchem při maximální kapilární vodní kapacitě.

Pro výpočet maximální vzdušné kapacity půdy používáme vztah:

$$K_{MKK} = P - \theta_{MKK} \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.9.1)$$

kde  $K_{MKK}$ ... maximální vzdušná kapacita [% obj.]

$P$  ... pórovitost [% obj.]

$\theta_{MKK}$ ... maximální kapilární vodní kapacita [% obj.].

### 1.3.10 Retenční vzdušná kapacita půdy

Retenční vzdušná kapacita vyjadřuje kolik % pórů je vyplněno vzduchem při retenční vodní kapacitě. Retenční vzdušnou kapacitu počítáme dle vztahu:

$$K_{RVK} = P - \theta_{RVK} \quad [\% \text{ obj.}] \quad (1.3.10.1)$$

kde  $K_{RVK}$ ... retenční vzdušná kapacita [% obj.]

$P$  ... pórovitost [% obj.]

$\theta_{RVK}$ ... retenční vodní kapacita [% obj.].

## 1.4 Nasycená hydraulická vodivost

Nasycená hydraulická vodivost je charakteristika, která vypovídá o rychlosti proudění vody skrz půdní prostředí a je vyjádřena jako koeficient nasycené hydraulické vodivosti. [4]

### *Stanovení nasycené hydraulické vodivosti*

Tuto charakteristiku lze určit v laboratorních podmínkách z neporušených půdních vzorků v permeamtru s konstantním spádem.



**Obrázek 1.11: Permeametr s konstantním spádem**

Nejprve necháme vzorky v Kopeckého válečkách kapilárně nasytit pomocí filtračního papíru na maximální kapilární kapacitu a poté je vložíme do permeamtru. Po dosycení na plnou vodní kapacitu měříme konstantní ustálené průtoky, tedy čas a objem vody proteklý za tuto dobu.

Ustálený průtok půdním vzorkem počítáme dle vztahu:

$$q = \frac{V}{\Delta t} \quad [cm^3 \cdot s^{-1}] \quad (1.4.0.1)$$

kde  $q$ ... ustálený průtok [ $cm^3 \cdot s^{-1}$ ]

$V$  ... objem vody proteklý za čas  $\Delta t$  [ $cm^3$ ]

$\Delta t$ ... čas [s].

Koeficient nasycené hydraulické vodivosti počítáme dle vztahu:

$$K_s = \left(\frac{q}{S}\right) \cdot \left(\frac{l}{h}\right) \quad [cm/s] \quad (1.4.0.2)$$

kde  $K_s$ ... koeficient nasycené hydraulické vodivosti [ $cm \cdot s^{-1}$ ]

$q$  ... ustálený průtok [ $cm^3 \cdot s^{-1}$ ]

$l$ ... výška válečku [cm]

$S$ ... plocha podstavy válečku [ $cm^2$ ]

$h$  ... konstantní rozdíl hladin [cm].



V naší literatuře uváděnou klasifikaci propustnosti na základě nasycené hydraulické vodivosti najdeme v následující tabulce.

**Tabulka 1.10: Klasifikace propustnosti podle Němce [2]**

číslo třídy	označení propustnosti	hydraulická vodivost $K_s$ [m/den]	hydraulická vodivost $K_s$ [cm.s <sup>-1</sup> ]
I	velmi nízká	<0,12	<0,0001
II	nízká	0,12-0,24	0,0001-0,0003
III	mírná	0,24-0,45	0,0003-0,0005
IV	střední	0,45-1,10	0,0005-0,0013
V	vysoká	1,10-2,30	0,0013-0,0027
VI	značně vysoká	2,30-5,50	0,0027-0,0064
VII	velmi vysoká	>5,50	>0,0064

V zahraniční literatuře uváděná ideální hodnota nasycené hydraulické vodivosti (saturated hydraulic conductivity) se pohybuje v rozmezí od  $5 \cdot 10^{-3}$  do  $5 \cdot 10^{-4}$  cm.s<sup>-1</sup>. [8]

Nasycenou hydraulickou vodivost lze stanovit i dalšími metodami. V laboratoři můžeme použít také permeametr s proměnným spádem nebo Tempské cely. Měření nasycené hydraulické vodivosti v terénu provádíme pomocí výtopové infiltrace, tlakového nebo Guelpského permeamtru. [4]

## 1.5 Obsah organických látek

Odumřelé organické látky rostlinného či živočišného původu v různém stádiu rozkladu nazýváme humus.

### *Stanovení přibližného obsahu veškeré organické hmoty v půdě žiháním (za sucha)*

Na analytických vahách zvážíme žihací kelímek a odměříme 5g vysušené jemnozeme II (zrna < 0,25 mm). Kelímek vložíme do muflové pece, kde postupně zvyšujeme teplotu až na 600 °C. Po vyžihání kelímky přesuneme do exikátoru a po vychladnutí zvážíme. [6]

Při tomto procesu dojde ke spálení veškeré organické hmoty a její obsah tedy určíme jako úbytek hmotnosti vzorku, který vypočítáme podle vzorce:

$$H = \frac{m_h}{m_s} \cdot 100 \quad [\% \text{ hm.}] \quad (1.5.0.1)$$

kde H... obsah organické hmoty [% hm.]

$m_h$  ...ztráta žiháním [g]

$m_s$ ... hmotnost vysušené zeminy před žiháním [g].

Pokud půda obsahuje uhličitany, musíme zjistit jejich obsah a odečíst jej od ztráty žiháním.

### ***Stanovení obsahu organické hmoty na mokré cestě***

Stanovením obsahu organického uhlíku na mokré cestě dostaneme přesnější výsledky než metodou vyžihání. Metoda na mokré cestě má několik modifikací (oxidometrické stanovení metoda Walkley – Black, modif. Novák – Pelíšek). Organický uhlík zoxidujeme (kyslíkem oxidačního činidla v prostředí kyseliny sírové) a jeho obsah stanovíme buď podle množství vzniklého produktu oxidační reakce (CO<sub>2</sub>), nebo na základě množství spotřebovaného oxidačního činidla (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). [5]

### ***Klasifikace půdy dle obsahu humusu***

Na základě obsahu humusu můžeme klasifikovat půdy dle následující tabulky.

**Tabulka 1.11: Hodnocení obsahu humusu [2]**

půdy	obsah humusu v půdách [% hm.]	
	lehkých	středních a těžkých
bezhumózní	0	0
slabě humózní	<1	<2
středně humózní	1-2	2-5
silně humózní	>2	>5

### ***Index stability***

Na základě obsahu organických látek a zrnitosti klasifikujeme zeminu do tříd hodnotících strukturální stabilitu (index stability), tedy riziko degradace půdy. Tento parametr je uváděn v zahraniční literatuře. [8] Index stability vypočítáme podle vzorce:

$$SI = \frac{1,72 \text{ OC}}{(\text{clay} + \text{silt})} \cdot 100 \quad [-] \quad (1.5.0.2)$$

kde SI... stability index (index stability) [-]

OC ...organic carbon (obsah organického uhlíku) [% hm.]

clay... obsah jílu [% hm.]

silt... obsah prachu [% hm.].

Hodnota 1,72 OC je v české literatuře uváděna jako obsah humusu, protože obsah organického uhlíku na humus přepočteme vynásobením koeficientem 1,724. [9]

**Tabulka 1.12: Klasifikace půdy na základě indexu stability [8]**

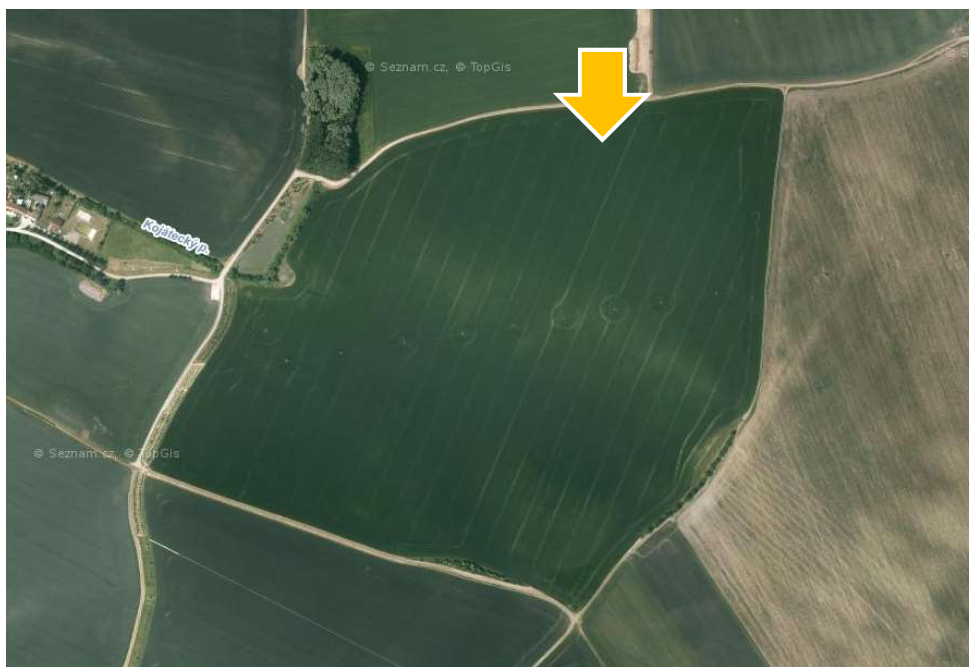
SI	indication	klasifikace
SI < 5	structurally degraded soil	strukturálně degradovaná půda
5 < SI < 7	high risk of structural degradation	vysoké riziko strukturální degradace
7 < SI < 9	low risk of soil structural degradation	nízké riziko strukturální degradace
9 < SI	structurally stable soil	strukturálně stabilní půda

## 2 Praktická část

### 2.1 Charakteristika území

#### 2.1.1 Popis lokality

Zkoumaná lokalita se nachází v katastrálním území obce Šardičky v okrese Vyškov nedaleko Bučovic. Geomorfologicky je oblast součástí Bučovické pahorkatiny. K hydropedologickému rozboru byly půdní vzorky odebírány vždy ze stejného místa. Souřadnice GPS odběrného místa jsou 49°10'33.2"N 17°02'47.4"E. Zemědělskou půdu o rozloze 45,03 ha obdělává firma ZEMO, spol. s r.o. V roce 2016 byl pěstovanou plodinou mák setý (*Papaver somniferum L.*).



Obrázek 2.1: Mapa zájmového území [11]

Podle hlavní půdní jednotky čísla BPEJ (Bonitovaná půdně ekologická jednotka 3.01.00) se zde nachází černozem, což je nejkvalitnější půda v ČR a spadá do 1. třídy ochrany zemědělského půdního fondu. [12]

#### 2.1.2 Klimatické poměry

Sledované území se nachází v teplém, mírně vlhkém regionu.

Naměřené hodnoty srážkových úhrnů uvedené v tabulkách 2.1 a 2.2 pocházejí ze sondy 00002, Bohaté Málkovice (měřeno systémem ALA). Bohaté Málkovice se nachází vzdušnou čarou přibližně 2,5 km severozápadně od obce Šardičky.

**Tabulka 2.1: Srážkové úhrny v roce 2016 [15]**

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
úhrn srážek [mm]	15,17	63,64	51,43	44,76	23,8	21,76	70,04	19,72	6,8	35,02	21,08	4,76
Σ srážek [mm]	379,1											

**Tabulka 2.2: Teplota v jednotlivých měsících roku 2016 [15]**

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
minimum [°C]	-14,8	-5,3	-	-	2,1	7,6	8,8	7	4,5	-0,3	-6,6	-8,1
maximum [°C]	10,8	16,8	-	-	29,1	34,7	35,4	31,1	33,8	25,1	14	9,8
průměr [°C]	-1,4	4,6	-	-	15	19,1	20,7	19,4	18	8,5	4,1	-0,6

Podle uvedených údajů byla v roce 2016 průměrná teplota 9,4 °C, minimální teplota -14,8 °C a maximální teplota 35,4 °C. [15]

V roce 2016 došlo k výpadku měření teplot v měsících březnu a dubnu, data tedy nejsou kompletní, což ovlivňuje vypočítanou průměrnou roční teplotu.

### 2.1.3 Hydrologické poměry

Zájmová lokalita patří do dílčího povodí řeky Svratky a hlavního povodí Moravy. V blízkém okolí se nachází potok Hvězdlička a jeho pravostranný přítok Pavlovický potok. Dále zde protéká Kojátecký potok, který ústí do Žlebovského potoka. Zájmová lokalita přímo sousedí s revitalizovaným mokřadem, který je tvořen slepým ramenem Kojáteckého potoka.

### 2.1.4 Technologie obdělávání půdy

Zemědělská půda v zájmové lokalitě byla zpracována minimalizační technologií (talířový podmítač, kypřič a diskový secí stroj bez válení).

Minimalizační technologie zajišťuje šetrnější prokypření půdy oproti klasickým způsobům zpracování půdy. Součástí půdoochranných technologií je také přímé setí (setí do nezpracované půdy) a zanechávání minimálně 30 % rostlinných zbytků na místě. [13]



Obrázek 2.2: Talířový podmítač [14]

## 2.2 Odběr vzorků

Vzorky v této lokalitě byly odebírány v roce 2016 celkem čtyřikrát v průběhu vegetačního období pěstované plodiny. Pro vyhodnocení kvality svrchní vrstvy půdy byly vždy odebrány vzorky porušené i neporušené z hloubky 0-10 cm. Popis odběru porušených a neporušených vzorků je uveden v kapitolách 1.1.2 a 1.1.3 V každém výjezdu bylo pro rozbor určující parametry půdy v přirozeném uložení odebráno celkem 10 neporušených půdních vzorků (5 pro základní rozbor půdy, 5 pro zkoušku nasycené hydraulické vodivosti) a přibližně 1 kg porušeného půdního vzorku (křivka zrnitosti, zdánlivá hustota půdních částic a vodostálost).

Tabulka 2.3: Data odebírání vzorků

označení výjezdu	1. výjezd	2. výjezd	3. výjezd	4. výjezd
datum odběru v roce 2016	29.4	24.6	19.7	15.8

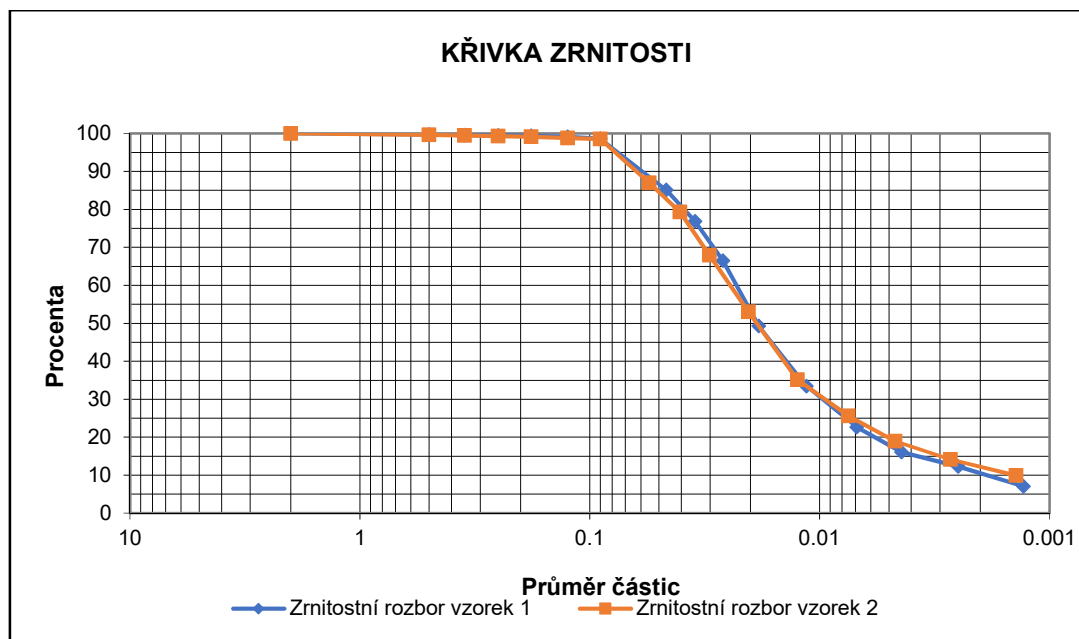
## 2.3 Fyzikálních vlastností půdy - výsledky měření a vyhodnocení

### 2.3.1 Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor byl proveden kombinovanou metodou - proséváním na sítích a hustoměrnou zkouškou dle A. Cassagrande. Tyto metody jsou podrobně popsány v kapitole 1.2.1, kde jsou také uvedeny použité systémy klasifikace půdy dle zrnitosti.

Pro zrnitostní rozbor byly použity vzorky z prvního výjezdu, záznam měření je uveden v příloze 1.1 a 1.2. V tabulce 2.4 jsou uvedeny hodnoty obsahu jílu, prachu a písku a také klasifikace půdy.

Grafickým výstupem je křivka zrnitosti znázorněná na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Křivky zrnitosti (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998)

Podle Nováka byla půda klasifikována na základě obsahu částic 1.kategorie (částice < 0,01 mm). Pro klasifikaci USDA a FAO byly použity trojúhelníkové diagramy zatřídňující půdu na základě obsahu jílu, prachu a písku.

Tabulka 2.4: Výsledek zrnitostního rozboru a klasifikace půdy na základě těchto dat

vzorek	<0.01 mm	jíl	prach	písek	klasifikace		
č.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	dle Nováka	USDA	FAO
1	30,1	10,12	69,93	19,95	středně těžká hlinitá	písčitá hlína	středně jemná
2	30,4	11,88	69,62	18,50	středně těžká hlinitá	písčitá hlína	středně jemná

### 2.3.2 Zdánlivá hustota pevných částic

Zdánlivá hustota pevných částic byla stanovena pomocí pyknometrů, podrobný postup je popsán v teoretické části v kapitole 1.2.2.

Pro stanovení zdánlivé hustoty pevných částic byly použity vzorky z prvního výjezdu, výsledná hodnota je  $2,66 \text{ g.cm}^{-3}$ , byla získána vypočtením průměru ze dvou měření, která jsou uvedena v příloze 2.

### 2.3.3 Struktura půdy a vodostálost agregátů

Stabilita agregátů byla stanovena zkouškou vodostálosti dle Andrianova popsanou v kapitole 1.2.3 a výsledky byly zapsány do záznamových archů, které jsou uvedeny v příloze 3.

**Tabulka 2.5: Výsledek zkoušky vodostálosti dle Andrianova**

datum odběru vzorku	29.4	24.6	19.7	15.8
vodostálost agregátů [%]	89,5	90,1	89,1	89,4

Na základě zkoušky vodostálosti můžeme konstatovat, že stabilita agregátů je vysoká, jedná se tedy o strukturní půdu s dobře vyvinutou strukturou.

## 2.4 Rozbor neporušeného půdního vzorku - výsledky měření a vyhodnocení

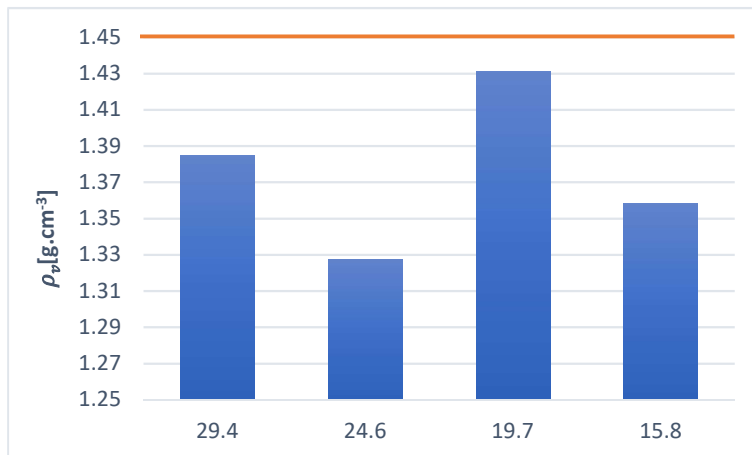
K rozboru neporušených půdních vzorků bylo vždy použito 5 vzorků z každého výjezdu. Výsledky a měření jednotlivých vzorků jsou uvedeny v přílohách 4.1 a ž 4.4. Následně z těchto hodnot byly vypočítány průměrné hodnoty jednotlivých veličin, které jsou uvedeny v tabulce 2.6 a znázorněny v příslušných grafech v kapitolách 2.4.1 až 2.4.5.

**Tabulka 2.6: Průměrné hodnoty měření a výpočtů rozboru neporušeného půdního vzorku**

parametr	ozn.	datum odběru v roce 2016				jednotka
		29.4	24.6	19.7	15.8	
hloubka odběru	h	0-10	0-10	0-10	0-10	cm
tara	T	96,24	95,32	96,87	96,06	g
bezprostředně po odběru	A	262,01	244,24	266,76	257,95	g
nasycený vzlín. vodou	B	268,75	262,06	273,59	266,30	g
odsávání na filtr. papíru -30 min	B <sub>30</sub>	266,93	258,91	271,87	264,21	g
odsávání na filtr. papíru -2 hod.	B <sub>2</sub>	265,95	257,42	270,68	262,78	g
odsávání na filtr. papíru-24 hod.	B <sub>24</sub>	263,06	252,62	268,00	259,45	g
vysušený při 105 °C	C	234,74	228,05	240,01	231,92	g
zdánlivá hustota půdních částic	$\rho_s$	2,66	2,66	2,66	2,66	g/cm <sup>3</sup>
objemová hmot. neredukovaná	$\rho$	1,66	1,49	1,70	1,62	g/cm <sup>3</sup>
objemová hmot. redukována	$\rho_d$	1,38	1,33	1,43	1,36	g/cm <sup>3</sup>
momentální vlhkost	$\Theta$	27,27	16,18	26,75	26,03	% obj.
nasákivost	$\Theta_{NS} = \Theta_s$	34,01	34,00	33,58	34,38	% obj.
30' vlhkost	$\Theta_{30}$	32,20	30,85	31,87	32,29	% obj.
max. vodní kapacita	$\Theta_{KMK}$	31,22	29,36	30,68	30,86	% obj.
retenční vodní kapacita	$\Theta_{RK}$	28,32	24,57	27,99	27,53	% obj.
pórovitost	P	47,93	50,10	46,19	48,93	% obj.
kapilární póry	P <sub>K</sub>	28,32	24,57	27,99	27,53	% obj.
semikapilární póry	P <sub>S</sub>	3,88	6,29	3,87	4,76	% obj.
nekapilární póry	P <sub>N</sub>	15,74	19,25	14,32	16,64	% obj.
provzdušenost	V <sub>Z</sub>	20,66	33,92	19,44	22,90	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K <sub>MKKVZ</sub>	16,72	20,74	15,51	18,07	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K <sub>RVKKVZ</sub>	19,61	25,53	18,20	21,40	% obj.

### 2.4.1 Objemová hmotnost reduková

Objemová hmotnost reduková byla stanovena dle postupu popsaneho v kapitole 1.3.1.



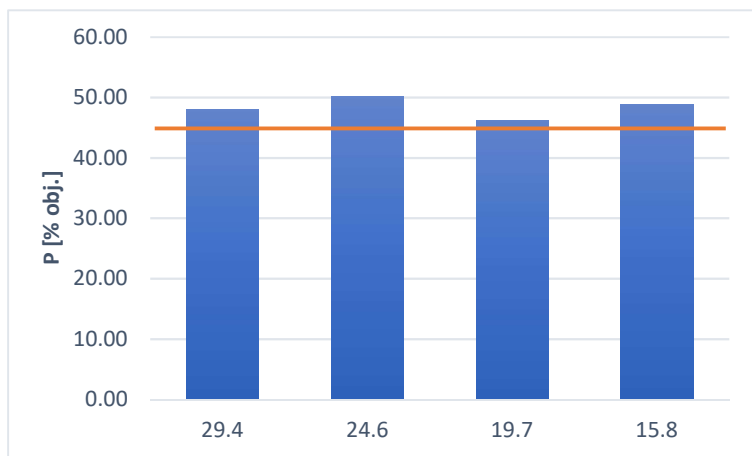
Obrázek 2.4: Graf průběhu průměrných hodnot objemové hmotnosti redukové

Objemová hmotnost reduková indikující kyprost nebo ulehlost půdy se pohybovala od 1,33 do 1,43 g.cm<sup>-3</sup>. Ve vegetačním období nebyly překročeny kritické hodnoty pro hlinitou půdu  $\rho_{krit}=1,45$  g.cm<sup>-3</sup>, které indikují utuženost či zhutnění půdy.

Stav strukturního horizontu dle Kutílka (tabulka 1.6) byl v prvním, druhém a čtvrtém výjezdu klasifikován jako dobrý (1,2 až 1,4 g.cm<sup>-3</sup>), ve třetím jako nevyhovující (1,4 až 1,6 g.cm<sup>-3</sup>).

### 2.4.2 Pórovitost

Pórovitost vyjadřuje procentuální zastoupení všech druhů pórů v půdním horizontu. Hodnotu pórovitosti počítáme podle vzorce uvedeného v kapitole 1.3.2.

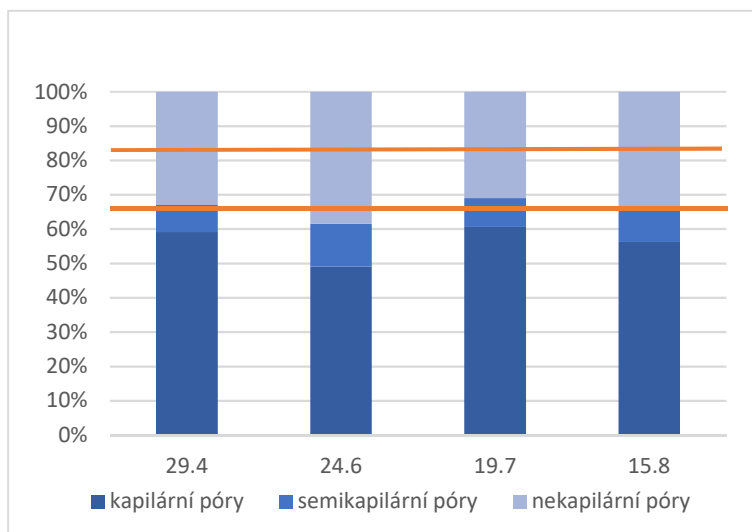


Obrázek 2.5: Graf průběhu průměrných hodnot pórovitosti

Pórovitost se v průběhu vegetačního období pohybovala v rozmezí od 46,2 do 50,1 % obj. Stav ornice v průběhu vegetačního období lze tedy klasifikovat dle Bretfelda (tabulka 1.8) jako uhlý (45 až 55 % obj.). Hodnoty pórovitosti neklesly pod kritickou hodnotu pro hlinitou půdu (45 % obj.). Kritické hodnoty dle Lhotského jsou uvedeny v tabulce 1.9.



Pro zajištění optimálního množství vody pro rostliny je důležitá nejen pórovitost, ale i zastoupení jednotlivých druhů pórů.



**Obrázek 2.6:** Graf průběhu průměrných hodnot zastoupení jednotlivých druhů pórů

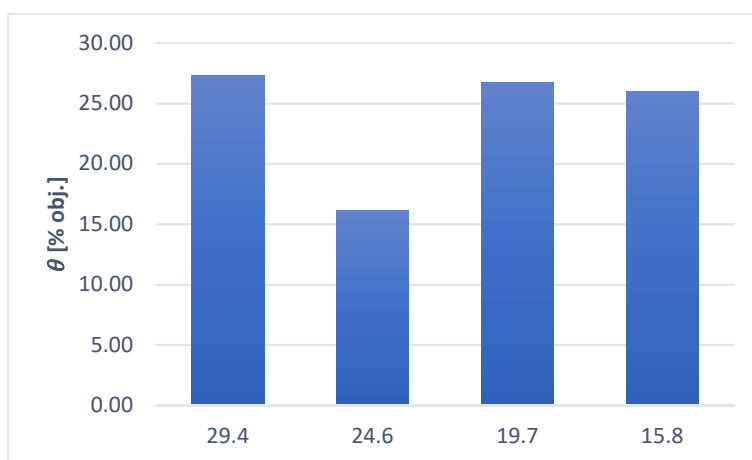
Kapilární póry by optimálně měly tvořit 2/3 pórovitosti (66,7 %), zbytek by měl být rovnoměrně rozdělen mezi semikapilární a nekapilární póry.

Jednotlivé druhy pórů jsou v průběhu celého vegetačního období rozděleny nerovnoměrně, což značí zhoršenou schopnost půdy zadržovat vodu. Nejvíce se optimálnímu zastoupení pórů blíží výsledky měření ve třetím výjezdu. Z grafu je patrné větší zastoupení nekapilárních pórů, kterými voda může poměrně rychle gravitačně odtékat do nižších půdních vrstev, tedy dále od kořenového systému rostlin.

### 2.4.3 Momentální vlhkost

Hodnota momentální vlhkosti byla stanovena výpočtem uvedeným v kapitole 1.3.3.

Momentální vlhkost závisí na srážkovém úhrnu, teplotě, výparu a evapotranspiraci a dalších vlivech.



**Obrázek 2.7:** Graf průběhu průměrných hodnot momentální vlhkosti

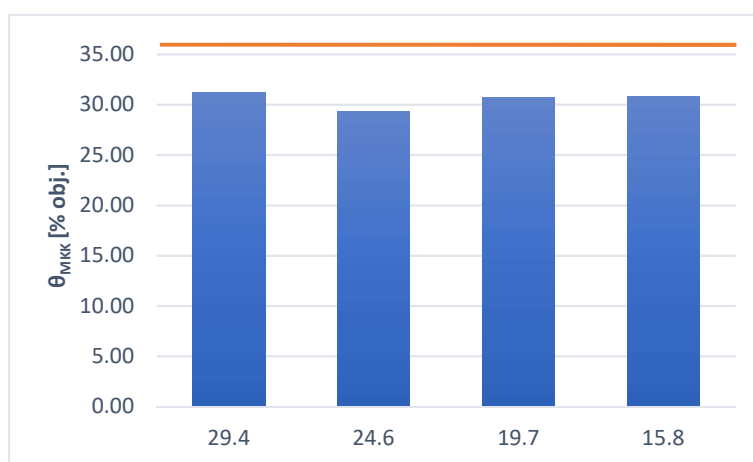
Hodnoty momentální vlhkosti se v průběhu vegetačního období pohybovaly od 16,2 % do 27,3 %.

Momentální vlhkost v obdobích prvního, třetího a čtvrtého výjezdu byla vyrovnaná. Výrazné snížení hodnoty ve druhém výjezdu (24.6.2016) bylo způsobeno nízkými srážkovými úhrny (tabulka 2.1) v průběhu měsíců května a června.

V tomto období bylo k dispozici méně vody pro rostliny, vodu v pórech nahradil vzduch, což je patrné z grafu provzdušenosti (obrázek 2.9).

#### 2.4.4 Maximální kapilární vodní kapacita

Maximální kapilární vodní kapacita vyjadřuje hodnotu maximálního nasycení, při překročení této vlhkosti se voda dále nevsakuje, ale dochází k zamokření půdy. Hodnota maximální kapilární vodní kapacity byla vypočítána podle vzorce uvedeného v kapitole 1.3.6.



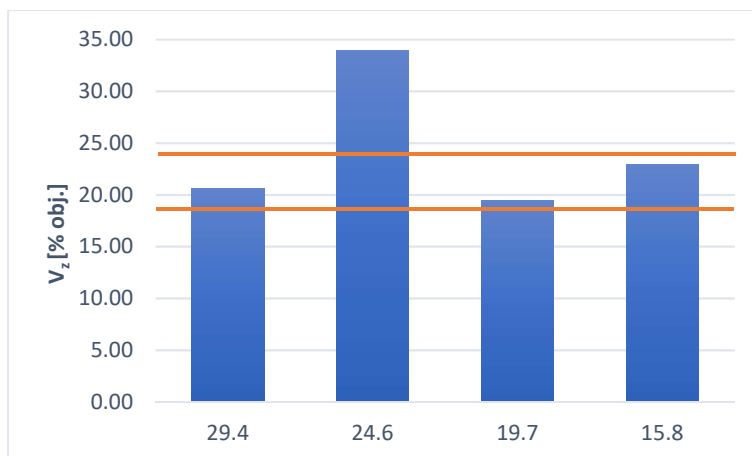
Obrázek 2.8: Graf průběhu průměrných hodnot maximální kapilární vodní kapacity

U hlinitých půd by hodnota maximální kapilární vodní kapacity neměla překročit 36 % obj., jinak by došlo k porušení půdy a voda by se špatně vsakovala do větších hloubek. [9]

Tato maximální hodnota nebyla překročena ani v jednom z měření, hodnoty v jednotlivých výjezdech se pohybovaly od 29,4 do 31,2 %.

#### 2.4.5 Provzdušenost

Provzdušenost vyjadřuje momentální obsah vzduchu vyjádřený jako poměr objemu vzduchu ve vzorku a objemu vzorku. Teorii a výpočtový vzorec najdeme v kapitole 1.3.8.

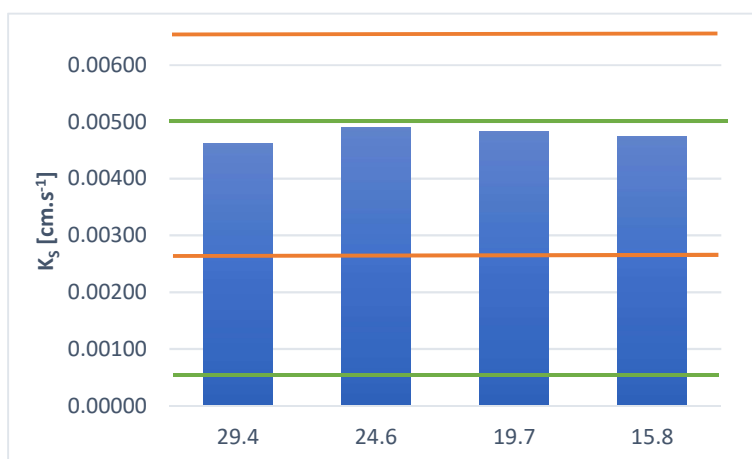


Obrázek 2.9: Graf průběhu průměrných hodnot provzdušenosti

Naměřené hodnoty se pohybovaly v optimálním rozmezí (18 až 24 % obj.), kromě měření ve druhém výjezdu, kde byla hodnota výrazně vyšší. Zvýšení provzdušenosti bylo způsobeno nízkými srážkovými úhrny v květnu a červnu (tabulka 2.1). Došlo ke snížení momentální vlhkosti, takže voda v pórech byla nahrazena vzduchem.

## 2.5 Nasycená hydraulická vodivost - výsledky měření a vyhodnocení

Nasycená hydraulická vodivost (koeficient nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ ) charakterizuje rychlost proudění vody půdním prostředím. Byla měřena v laboratorních podmínkách pomocí permeamtru s konstantním spádem. Tato metoda a následný výpočet je uveden v teoretické části v kapitole 1.4. Výsledná hodnota byla určena jako průměrná hodnota ze 4 nebo 5 měření. Z prvního výjezdu bylo použito všech pět odebraných neporušených vzorků půdy, v ostatních případech byly použity pouze 4. Zbylé vzorky obsahovaly preferenční cesty vytvořené edafonem a nebylo je možné použít ke zkoušce.



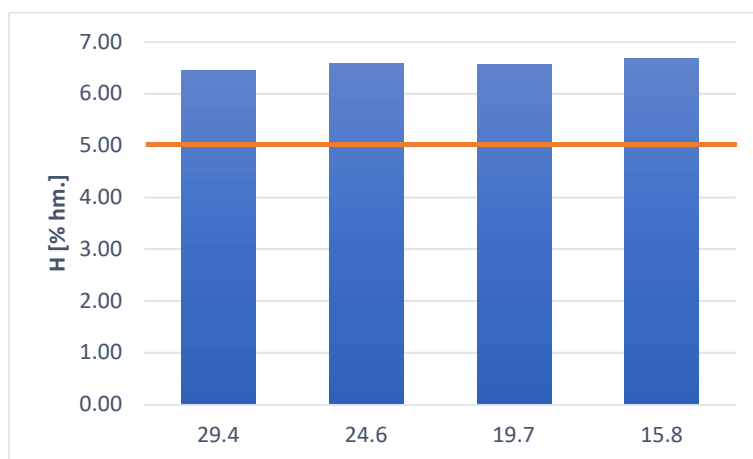
Obrázek 2.10: Graf průběhu průměrných hodnot nasycené hydraulické vodivosti

V zahraniční literatuře se hodnota ideální nasycené hydraulické vodivosti (saturated hydraulic conductivity) pohybuje od  $5 \cdot 10^{-3}$  do  $5 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$ . [8]. Průměrné hodnoty výsledků všech měření se pohybují v tomto rozpětí (označeno zelenou čarou).

V naší literatuře hodnoty nasycené hydraulické vodivosti slouží k zařazení půdy do kategorie půdní propustnosti. Rozpětí jednotlivých kategorií jsou vedena v tabulce 1.10 Průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti se v průběhu celého vegetačního období pohybovaly v rozmezí od 0,0027 do 0,0064  $\text{cm.s}^{-1}$  (2,30 až 5,50 m/den), podle klasifikace dle Němce jde o půdu se značně vysokou propustností (rozpětí označeno oranžovou čarou).

## 2.6 Obsah organických látek - výsledky měření a vyhodnocení

Obsah organických látek byl stanoven metodou ztráty žiháním (metoda je popsána v kapitole 1.5) bez odečtení uhličitánů. Výsledné množství humusu v půdě bylo stanoveno jako průměr hodnot ze dvou měření. Metoda ztráty žiháním poskytuje pouze orientační hodnoty.



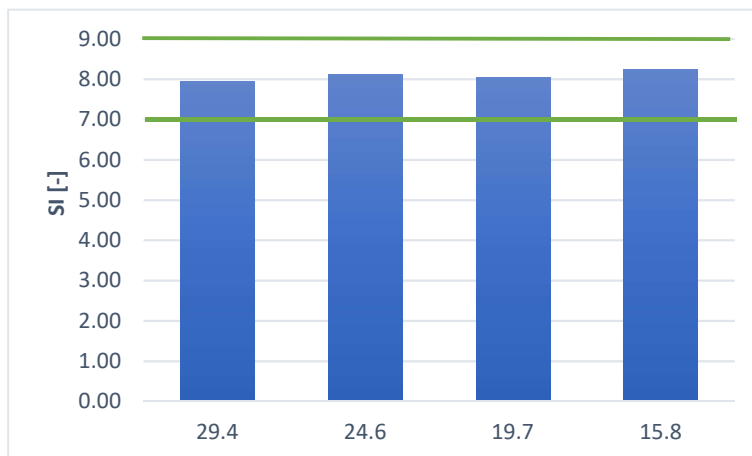
Obrázek 2.11: Graf průběhu průměrných hodnot obsahu organických látek

Průměrné hodnoty obsahu organických látek byly v průběhu celého vegetačního období vyrovnané.

Na základě hodnocení obsahu humusu v tabulce 1.11 klasifikujeme půdu jako silně humózní.

Naměřené hodnoty obsahu humusu jsou neobvykle vysoké, je tedy pravděpodobné že tento výsledek neodpovídá realitě. Nesprávné určení obsahu humusu je částečně způsobeno použitím metody měření ztráty vyžiháním bez odečtení uhličitánů, která poskytuje pouze orientační hodnoty. Dalším možnou nepřesností bylo změření nejen humusu, ale i nerozložené organické hmoty, která se na polích při použití minimalizační technologie záměrně zanechává.

V zahraničí udávaný parametr index stability klasifikuje půdu na základě obsahu humusu do tříd rizik strukturální degradace. Index stability byl vypočítán podle vzorce uvedeného v kapitole 1.5.



**Obrázek 2.12: Graf průběhu hodnot indexu stability**

Hodnoty indexu stability se v průběhu celého vegetačního období pohybují v rozmezí 7 až 9, což dle tabulky 1.12 značí nízké riziko strukturální degradace.

Hodnoty indexu stability vycházejí ze zrnitostního složení a obsahu humusu v půdě. Tento výsledek je tedy ovlivněn nepřesností v určení obsahu humusu.

## Závěr

V této bakalářské práci bylo vyhodnoceno celkem 10 vybraných parametrů jako indikátorů kvality půdy. Zkoumána byla svrchní vrstva zemědělské půdy v blízkosti obce Šardičky, kde je používána minimalizační technologie. Pomocí křivky zrnitosti bylo znázorněno zrnitostní složení půdy a zemina byla zaříděna do kategorie půdního druhu podle naší i zahraniční literatury. Bylo zjištěno, že jde o půdu středně těžkou hlinitou (dle Nováka), písčitou hlínu (USDA), středně jemnou (FAO). Hodnota zdánlivé hustoty pevných částic byla stanovena  $2,66 \text{ g.cm}^{-3}$ , což odpovídá měrné hmotnosti křemenu, který se na území ČR často vyskytuje. Zkouškou vodostálosti bylo zjištěno, že stabilita agregátů je vysoká, jedná se tedy o strukturní půdu s dobře vyvinutou strukturou. Na základě objemové hmotnosti redukované byl hodnocen dle Kutílka stav strukturního horizontu jako dobrý, kromě období 3. výjezdu (červenec), kdy došlo ke zhoršení stavu na nevyhovující. Ve sledovaném období nebyla překročena kritická hodnota objemové hmotnosti. Podle hodnoty pórovitosti lze klasifikovat stav ornice v průběhu celého vegetačního období dle Bretfelda jako ulehlý, pórovitost neklesla pod kritické hodnoty. Jednotlivé druhy pórů (kapilární, semikapilární, nekapilární) nebyly zastoupeny rovnoměrně, nejvíce se optimálnímu zastoupení blížily hodnoty naměřené ve 3. výjezdu (červenec). Ve všech měřeních byl zaznamenán větší obsah nekapilárních pórů oproti ideálnímu zastoupení, což způsobuje zhoršenou schopnost půdy zadržovat vodu. Hodnoty momentální vlhkosti a provzdušenosti byly v prvním, třetím a čtvrtém výjezdu vyrovnané, ale v období 2. výjezdu (červen) došlo k výkyvu těchto hodnot. Důsledkem nízkého srážkového úhrnu se snížila momentální vlhkosti, voda v pórech se odpařila nebo byla spotřebována rostlinami a byla nahrazena vzduchem, což se projevilo na zvýšení hodnot provzdušenosti. Provzdušenost se pohybovala v průběhu vegetačního období v optimálním rozmezí, kromě již zmíněného období druhého výjezdu. Maximální kapilární vodní kapacita ani v jednom z měření nepřekročila kritickou hodnotu pro hlinité půdy. Na základě nasycené hydraulické vodivosti (vyjádřené koeficientem nasycené hydraulické vodivosti) byla půda podle české literatury (dle Němce) klasifikována jako půda se značně vysokou propustností. Stanovené hodnoty nasycené hydraulické vodivosti se v průběhu celého vegetačního období pohybovaly v ideálním rozpětí uváděném v zahraniční literatuře. Půda byla na základě obsahu organických látek klasifikována dle české literatury (Kutílek) jako půda silně humózní. Naměřené hodnoty obsahu humusu jsou neobvykle vysoké, je tedy pravděpodobné že tento výsledek neodpovídá realitě. Důvody nepřesnosti jsou uvedeny v kapitole 2.6. V zahraničí udávaný parametr index stability klasifikuje půdu na základě obsahu humusu do tříd rizik strukturální degradace. Zkoumaná zemina byla zaříděna jako půda s nízkým rizikem strukturální degradace. Hodnoty indexu stability vycházejí ze zrnitosti a obsahu humusu v půdě, tento výsledek je tedy taky ovlivněn nepřesností v určení obsahu humusu.

Přestože šlo zatím pouze o jednoletý výzkum, výsledky měření byly uspokojivé. Měřené hodnoty a vyhodnocené parametry se pohybovaly v rozmezí optimálních hodnot, k překročení těchto hranic docházelo jen výjimečně, a to většinou v důsledku nedostatku srážek v období května a června. Po doplnění vlhkosti v dalším měsíci se hodnoty vrátily do optimálního rozmezí. K překračování kritických hodnot nedocházelo. Lze tedy říct, že ve zkoumané lokalitě obce Šardičky je kvalita půdy dobrá.

V dalších letech bude výzkum svrchní vrstvy půdy v této lokalitě pokračovat a pravděpodobně budou měřeny i vlastnosti podorníční vrstvy. Hodnoty parametrů budou zpřesněny, a tak bude možné porovnat dlouhodobější vývoj vlastností zeminy obdělávané minimalizační technologií.

## Použitá literatura

- [1] ŠÁLEK, Jan. *Půdní hospodářství*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1986. ISBN 55-610-86.
- [2] KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1978. ISBN 04-721-78.
- [3] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Vodní hospodářství krajiny I-M01 Pedologie*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, VUT FAST v Brně, 2005.
- [4] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Návody do cvičení (VHK) Hydropedologie*, Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. VUT FAST v Brně, 2013.
- [5] JANDÁK, Jiří. *Cvičení z půdoznalectví*, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. ISBN 80-7157-733-2
- [6] Vališ, S., Šálek, J.: *Hydropedologické praktikum*, Brno: ES VUT, 1976, 183 s
- [7] Soil classification. In: *Waterware water resources management information system* [online]. Austria, 2010 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.ess.co.at/MANUALS/WATERWARE/soilclassification.html>
- [8] REYNOLDS, W.D., C.F. DRURY, X.M. YANG, C.A. FOX, C.S. TAN a T.Q. ZHANG. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Elsevier B.V.* 2007, , 15. DOI: 10.1016/j.still.2007.07.003.
- [9] POKORNÝ, Eduard, Bořivoj ŠARAPATKA a Květuše HEJÁTKOVÁ. *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka*. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007. ISBN 80-903-5485-8.
- [10] *Ekotechnika: Stabilita půdních agregátů* [online]. Černošice u Prahy: Ekotechnika [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/stabilita-pudnich-agregatu> Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/stabilita-pudnich-agregatu>
- [11] *Mapy.cz* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.0442393&y=49.1734879&z=16&base=ophoto&q=Koj%C3%A1tk>
- [12] BPEJ 3.01.00. *eKatalog BPEJ* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://bpej.vumop.cz/30100>
- [13] HŮLA, Josef a kolektiv. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí*. Praha: Vyzkumný ustav zemědělské techniky, v.v.i., 2010. ISBN 978-80-86884-53-0.
- [14] *Vobosystém s.r.o.: Hatzenbichler - stroje pro zpracování půdy* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.vobosystem.cz/hatzenbichler>

- [15] Systém ALA: Graf dat sondy 00002; Bohaté Málkovice (VY). *Systém ALA* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://a.la-a.la/chart/chart.php?probe=11359123>



## Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Zrnitostní kategorie dle Nováka [4] .....	10
Tabulka 1.2: Taxonomický klasifikační systém půd ČR – USDA [4] .....	10
Tabulka 1.3: Tabulka pro výpočet vodostálosti dle Adrianova [6] .....	15
Tabulka 1.4: Porovnání vlastností půd se strukturním a nestrukturním povrchovým horizontem [2] .....	16
Tabulka 1.5: Formulář pro záznam stanovených hmotností [4] .....	17
Tabulka 1.6: Přibližné hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle objemové hmotnosti [2] .....	19
Tabulka 1.7: Kritické hodnoty objemové hmotnosti podle Lhotského [4] .....	19
Tabulka 1.8: Klasifikace půdy podle pórovitosti podle Bretfelda [2] .....	20
Tabulka 1.9: Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského [4] .....	20
Tabulka 1.10: Klasifikace propustnosti podle Němce [2] .....	26
Tabulka 1.11: Hodnocení obsahu humusu [2] .....	27
Tabulka 1.12: Klasifikace půdy na základě indexu stability [8] .....	27
Tabulka 2.1: Srážkové úhrny v roce 2016 [15] .....	29
Tabulka 2.2: Teplota v jednotlivých měsících roku 2016 [15] .....	29
Tabulka 2.3: Data odebrání vzorků .....	30
Tabulka 2.4: Výsledek zrnitostního rozboru a klasifikace půdy na základě těchto dat .....	31
Tabulka 2.5: Výsledek zkoušky vodostálosti dle Adrianova .....	32
Tabulka 2.6: Průměrné hodnoty měření a výpočtů rozboru neporušeného půdního vzorku ...	32

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Kopaná sonda [5].....	5
Obrázek 1.2: Kopeckého válečky pro odběr neporušených půdních vzorků.....	6
Obrázek 1.3: Sada sít pro síťový rozbor .....	7
Obrázek 1.4: Hustoměr .....	8
Obrázek 1.5: Zrnitostní křivka (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998) .....	9
Obrázek 1.6: Trojúhelníkový diagram USDA [4].....	10
Obrázek 1.7: Trojúhelníkový diagram FAO [7].....	11
Obrázek 1.8: Hlavní strukturní typy v minerálních půdách (upraveno podle Brady) [4] .....	14
Obrázek 1.9: Přístroj na mokré prosívání [10].....	16
Obrázek 1.10: Rozbor neporušeného půdního vzorku [4] .....	18
Obrázek 1.11: Permeametr s konstantním spádem .....	25
Obrázek 2.1: Mapa zájmového území [11] .....	28
Obrázek 2.2: Talířový podmítač [14].....	30
Obrázek 2.3: Křivky zrnitosti (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998).....	31
Obrázek 2.4: Graf průběhu průměrných hodnot objemové hmotnosti redukované.....	33
Obrázek 2.5: Graf průběhu průměrných hodnot pórovitosti .....	33
Obrázek 2.6: Graf průběhu průměrných hodnot zastoupení jednotlivých druhů pórů.....	34
Obrázek 2.7: Graf průběhu průměrných hodnot momentální vlhkosti .....	34
Obrázek 2.8: Graf průběhu průměrných hodnot maximální kapilární vodní kapacity .....	35
Obrázek 2.9: Graf průběhu průměrných hodnot provzdušenosti .....	36
Obrázek 2.10: Graf průběhu průměrných hodnot nasycené hydraulické vodivosti.....	36
Obrázek 2.11: Graf průběhu průměrných hodnot obsahu organických látek .....	37
Obrázek 2.12: Graf průběhu hodnot indexu stability .....	38

## Seznam použitých zkratek a symbolů

a	konstanta pro sedimentaci zemitých částic při teplotě 20 °C [ $\text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
clay	obsah jílu [% hm.]
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
g	tíhové zrychlení [ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
G <sub>A</sub>	vzorek s přirozenou vlhkostí [g]
G <sub>B</sub>	vzorek kapilárně nasycený [g]
G <sub>C</sub>	vzorek po 30' odsávání [g]
G <sub>D</sub>	vzorek po 2 hodinách odsávání [g]
G <sub>E</sub>	vzorek po 24 hodinách odsávání [g]
G <sub>F</sub>	vzorek po vysušení při 105 °C [g]
G <sub>H</sub>	čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g]
G <sub>S</sub>	hmotnost hodinového skla [g]
G <sub>V</sub>	hmotnost fyzikálního válečku [g]
H	obsah organické hmoty [% hm.]
h	konstantní rozdíl hladin [cm]
K <sub>MKK</sub>	maximální vzdušná kapacita [% obj.]
K <sub>RVK</sub>	retenční vzdušná kapacita [% obj.]
K <sub>S</sub>	koeficient nasycené hydraulické vodivosti [ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
l	výška válečku [cm]
m <sub>h</sub>	ztráta žíháním [g]
m <sub>s</sub>	hmotnost vysušené zeminy před žíháním [g]
MSO	Microsoft Office Excel
M <sub>W</sub>	hmotnost vody ve vzorku [g]
M <sub>Z</sub>	hmotnost vzorku [g]
N <sub>s</sub>	navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g]
N <sub>s</sub>	navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic [g]
OC	organic carbon (obsah organického uhlíku) [% hm.]
P	celková pórovitost [% obj.]
P <sub>s</sub>	hmotnost pyknometru se zeminou [g]
P <sub>v</sub>	hmotnost pyknometru s vodou [g]
q	ustálený průtok [ $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
r	poloměr částice [cm]
S	plocha podstavy válečku [ $\text{cm}^2$ ]
SI	stability index (index stability) [-]

---

silt	obsah prachu [% hm.]
USDA	United States Department of Agriculture
V	vodostálost [%]
V <sub>s</sub>	objem fyzikálního válečku [cm <sup>3</sup> ]
V <sub>V</sub>	objem naváženého vzorku [cm <sup>3</sup> ]
V <sub>W</sub>	objem vody ve vzorku [cm <sup>3</sup> ]
V <sub>z</sub>	provzdušenost [% obj.]
w	hmotnostní vlhkost [% hm]
η	viskozita disperzního prostředí [g.cm <sup>-1</sup> . s <sup>-1</sup> ]
θ	objemová vlhkost [% obj.]
θ <sub>30</sub>	vlhkost 30' [% obj.]
θ <sub>MKK</sub>	maximální kapilární vodní kapacita [% obj.]
θ <sub>ns</sub>	nasákivost [% obj.]
θ <sub>RVK</sub>	retenční vodní kapacita [% obj.]
ρ <sub>0</sub>	hustota disperzního prostředí [g.cm <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>d</sub>	objemová hmotnost redukována [g.cm <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>s</sub>	zdánlivá hustota pevných částic [g.cm <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>v</sub>	objemová hmotnost neredukovaná [g.cm <sup>-3</sup> ]
v	sedimentační rychlost [cm.s <sup>-1</sup> ]

## Seznam příloh

- 1.1 Zrnitostní rozbor vzorku 1 z 1. výjezdu
- 1.2 Zrnitostní rozbor vzorku 2 z 1. výjezdu
- 2 Zdánlivá hustota pevných částic vzorku 1 a 2 z 1. výjezdu
- 3 Vodostálost agregátů z 1. až 4. výjezdu
- 4.1 Rozbor neporušeného půdního vzorku z 1. výjezdu
- 4.2 Rozbor neporušeného půdního vzorku z 2. výjezdu
- 4.3 Rozbor neporušeného půdního vzorku ze 3. výjezdu
- 4.4 Rozbor neporušeného půdního vzorku ze 4. výjezdu
- 5.1 Nasycená hydraulická vodivost vzorků z 1. výjezdu
- 5.2 Nasycená hydraulická vodivost vzorků z 2. výjezdu
- 5.3 Nasycená hydraulická vodivost vzorků ze 3. výjezdu
- 5.4 Nasycená hydraulická vodivost vzorků ze 4. výjezdu
- 6 Obsah organické hmoty ve vzorcích z 1. až 4. výjezdu

# Přílohy

## Příloha 1.1 Zrnitostní rozbor vzorku 1 z 1. výjezdu

ZÁPIS MĚŘENÍ A VÝPOČET KŘIVKY ZRNITOSTI HUSTOMĚRNOU METODOU								
Lokalita: Šardičky			Vzorek: 1		Provedla: Schneiderová			
					Ing. I. Kameníčková Ph.D.			
Datum: 01.05.2016			Hustoměr: 2889		Antikoagulant: vod. sklo			
Stanovení Wo								
Zdánlivá hustota půdníc částic :							2.66 g.cm <sup>-3</sup>	
Navážka pro rozbor na vzduchu vyschlé zeminy :							50 g	
Navážka pro rozbor vlhkosti :				10 g	Sušina :		9.78 g	
Navážka pro rozbor vysušené zeminy Wo :							48.9 g	
Čas [ s ]	Ro	Ts	Tp	m	R	R + m	d [ mm ]	W %
Rozbor zrnitosti na sítích							2	100
							0.5	99.673
							0.35	99.571
							0.25	99.468
							0.18	99.387
							0.125	99.080
							0.09	98.609
30	27.00	26.25	26.25	1.154	25.6	26.754	0.0465	85.11
60	24.40	26.25	26.25	1.154	23.0	24.154	0.0349	76.84
120	21.20	26.00	26.00	1.109	19.8	20.909	0.0264	66.51
300	15.80	26.00	26.00	1.109	14.4	15.509	0.0184	49.34
900	10.80	26.00	26.00	1.109	9.4	10.509	0.0114	33.43
2700	7.40	26.00	26.00	1.109	6.0	7.109	0.0069	22.61
7200	5.40	25.75	25.75	1.064	4.0	5.064	0.0044	16.11
21600	4.20	25.75	25.75	1.064	2.8	3.864	0.0025	12.29
86400	2.20	27.75	27.75	1.423	0.8	2.223	0.0013	7.07

(MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998)

## Příloha 1.2 Zrnitostní rozbor vzorku 2 z 1. výjezdu

ZÁPIS MĚŘENÍ A VÝPOČET KŘIVKY ZRNITOSTI HUSTOMĚRNOU METODOU								
Lokalita: Šardičky			Vzorek: 2		Provedla: Schneiderová Ing. I. Kameníčková Ph.D.			
Datum: 01.05.2016		Hustoměr: 806		Antikoagulans: vod. sklo				
Stanovení Wo								
Zdánlivá hustota půdníc částic :							2.66 g.cm <sup>-3</sup>	
Navážka pro rozbor na vzduchu vyschlé zeminy :							50 g	
Navážka pro rozbor vlhkosti :				10 g	Sušina :		9.82 g	
Navážka pro rozbor vysušené zeminy Wo :							49.1 g	
Čas [ s ]	Ro	Ts	Tp	m	R	R + m	d [ mm ]	W %
Rozbor zrnitosti na sítích							2	100
							0.5	99.591
							0.35	99.488
							0.25	99.263
							0.18	99.079
							0.125	98.751
							0.09	98.526
30	25.20	26.75	26.75	1.244	26.2	27.444	0.0551	86.95
60	22.80	26.75	26.75	1.244	23.8	25.044	0.0405	79.34
120	19.20	26.75	26.75	1.244	20.2	21.444	0.0302	67.94
300	14.50	26.75	26.75	1.244	15.5	16.744	0.0204	53.05
900	8.80	27.00	27.00	1.289	9.8	11.089	0.0125	35.13
2700	5.80	27.00	27.00	1.289	6.8	8.089	0.0075	25.63
7200	3.60	27.50	27.50	1.378	4.6	5.978	0.0047	18.94
21600	2.00	28.00	28.00	1.468	3.0	4.468	0.0027	14.16
86400	0.80	27.25	27.25	1.333	1.8	3.133	0.0014	9.93

(MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998)

**Příloha 2      Zdánlivá hustota pevných částic vzorku 1 a 2 z 1. výjezdu**

datum odběru	h	hmotn. sušiny	pyknometr			hmotnost vytlačené vody	$\rho_s$	průměr $\rho_s$
			číslo	hmotnost s vodou	$\text{h}_2\text{O}+$ zem.			
-	cm	g	-	g	g	g	$\text{g.cm}^{-3}$	$\text{g.cm}^{-3}$
29.04.2016	0-10	9.78	76	135.15	141.27	3.66	2.67	2.66
29.04.2016	0-10	9.78	70	136.35	142.44	3.69	2.65	



### Příloha 3 Vodostálost agregátů z 1. až 4. výjezdu

výjezd		1	2	3	4	1	2	3	4
doba pozorování	koef.*	počet rozplavených agregátů				součin			
min	ki	ni				ni*ki			
1	5	3	2	2	1	15	10	10	5
2	15	1	1	2	2	15	15	30	30
3	25	0	0	1	1	0	0	25	25
4	35	1	2	0	0	35	70	0	0
5	45	0	0	2	2	0	0	90	90
6	55	2	2	0	1	110	110	0	55
7	65	0	0	0	1	0	0	0	65
8	75	0	0	0	0	0	0	0	0
9	85	0	0	0	0	0	0	0	0
10	95	0	0	0	0	0	0	0	0
polorozpadlé ag.	50	16	24	10	30	800	1200	500	1500
nerozpadlé ag.	100	35	31	38	27	3500	3100	3800	2700
suma součinů						4475	4505	4455	4470
* koeficient vodostálosti						Vodostálost [%] :			
						89.5	90.1	89.1	89.4

#### Příloha 4.1 Rozbor neporušeného půdního vzorku z 1. výjezdu

hloubka odběru	h	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	cm
tara	T	97.85	97.26	94.86	94.81	96.43	g
bezprostředně po odběru	A	263.77	257.89	262.94	262.64	262.81	g
nasycený vzlín. vodou	B	268.95	264.64	270.24	269.45	270.47	g
odsávání na filtr. papíru -30 min	B <sub>30</sub>	267.95	263.95	267.72	267.33	267.72	g
odsávání na filtr. papíru -2 hod.	B <sub>2</sub>	267.16	262.94	266.55	266.33	266.79	g
odsávání na filtr. papíru-24 hod.	B <sub>24</sub>	264.7	259.8	263.81	263.32	263.66	g
vysušený při 105 °C	C	235.34	230.65	237.25	235.84	234.6	g
zdánlivá hustota půdních částic	$\rho_s$	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. neredukovaná	$\rho$	1.66	1.61	1.68	1.68	1.66	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. redukována	$\rho_d$	1.37	1.33	1.42	1.41	1.38	g.cm <sup>-3</sup>

momentální vlhkost	$\Theta$	28.43	27.24	25.69	26.80	28.21	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{Ns} = \Theta_s$	33.61	33.99	32.99	33.61	35.87	% obj.
30' vlhkost	$\Theta_{30}$	32.61	33.30	30.47	31.49	33.12	% obj.
max. vodní kapacita	$\Theta_{KMK}$	31.82	32.29	29.30	30.49	32.19	% obj.
retenční vodní kapacita	$\Theta_{RK}$	29.36	29.15	26.56	27.48	29.06	% obj.
pórovitost	P	48.31	49.85	46.47	46.98	48.06	% obj.
kapilární póry	P <sub>K</sub>	29.36	29.15	26.56	27.48	29.06	% obj.
semikapilární póry	P <sub>S</sub>	3.25	4.15	3.91	4.01	4.06	% obj.
nekapilární póry	P <sub>N</sub>	15.70	16.55	16.00	15.49	14.94	% obj.
provzdušenost	V <sub>Z</sub>	19.88	22.61	20.78	20.18	19.85	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K <sub>MKKVZ</sub>	16.49	17.56	17.17	16.49	15.87	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K <sub>RVKKVZ</sub>	18.95	20.70	19.91	19.50	19.00	% obj.

#### Příloha 4.2 Rozbor neporušeného půdního vzorku z 2. výjezdu

hloubka odběru	h	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	cm
tara	T	96.47	96.63	92.39	96.24	94.86	g
bezprostředně po odběru	A	251.39	244.92	242.86	241.59	240.43	g
nasycený vzlín. vodou	B	268.04	263.02	259.71	261.66	257.86	g
odsávání na filtr. papíru -30 min	B <sub>30</sub>	265.05	260.52	256.49	258.02	254.45	g
odsávání na filtr. papíru -2 hod.	B <sub>2</sub>	262.85	259.23	255.62	256.34	253.05	g
odsávání na filtr. papíru-24 hod.	B <sub>24</sub>	258.08	254.73	251	251.04	248.25	g
vysušený při 105 °C	C	227.08	232.18	228.31	227.87	224.83	g
zdánlivá hustota půdních částic	$\rho_s$	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. neredukovaná	$\rho$	1.55	1.48	1.50	1.45	1.46	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. redukována	$\rho_d$	1.31	1.36	1.36	1.32	1.30	g.cm <sup>-3</sup>

momentální vlhkost	$\Theta$	24.31	12.74	14.55	13.72	15.60	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	40.96	30.84	31.40	33.79	33.03	% obj.
30'vlhkost	$\Theta_{30}$	37.97	28.34	28.18	30.15	29.62	% obj.
max. vodní kapacita	$\Theta_{KMK}$	35.77	27.05	27.31	28.47	28.22	% obj.
retenční vodní kapacita	$\Theta_{RK}$	31.00	22.55	22.69	23.17	23.42	% obj.
pórovitost	P	50.90	49.04	48.90	50.52	51.14	% obj.
kapilární póry	P <sub>K</sub>	31.00	22.55	22.69	23.17	23.42	% obj.
semikapilární póry	P <sub>S</sub>	6.97	5.79	5.49	6.98	6.20	% obj.
nekapilární póry	P <sub>N</sub>	12.93	20.70	20.72	20.37	21.52	% obj.
provzdušenost	V <sub>Z</sub>	26.59	36.30	34.35	36.80	35.54	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K <sub>MKKVZ</sub>	15.13	21.99	21.59	22.05	22.92	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K <sub>RVKKVZ</sub>	19.90	26.49	26.21	27.35	27.72	% obj.

### Příloha 4.3 Rozbor neporušeného půdního vzorku ze 3. výjezdu

hloubka odběru	h	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	cm
tara	T	96.44	98.97	95.77	95.87	97.32	g
bezprostředně po odběru	A	262.96	269.06	263.1	267.46	271.21	g
nasycený vzlín. vodou	B	270.59	274.81	270.86	274.82	276.85	g
odsávání na filtr. papíru -30 min	B <sub>30</sub>	268.6	273.24	269.06	272.94	275.53	g
odsávání na filtr. papíru -2 hod.	B <sub>2</sub>	267.33	272.2	267.64	271.73	274.52	g
odsávání na filtr. papíru-24 hod.	B <sub>24</sub>	263.67	269.48	264.47	269.7	272.68	g
vysušený při 105 °C	C	235.31	241.46	237.92	242.67	242.68	g
zdánlivá hustota půdních částic	$\rho_s$	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. neredukovaná	$\rho$	1.67	1.70	1.67	1.72	1.74	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. redukována	$\rho_d$	1.39	1.42	1.42	1.47	1.45	g.cm <sup>-3</sup>

momentální vlhkost	$\Theta$	27.65	27.60	25.18	24.79	28.53	% obj.
nasákivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	35.28	33.35	32.94	32.15	34.17	% obj.
30'vlhkost	$\Theta_{30}$	33.29	31.78	31.14	30.27	32.85	% obj.
max. vodní kapacita	$\Theta_{KMK}$	32.02	30.74	29.72	29.06	31.84	% obj.
retenční vodní kapacita	$\Theta_{RK}$	28.36	28.02	26.55	27.03	30.00	% obj.
pórovitost	P	47.79	46.43	46.56	44.81	45.35	% obj.
kapilární póry	P <sub>K</sub>	28.36	28.02	26.55	27.03	30.00	% obj.
semikapilární póry	P <sub>S</sub>	4.93	3.76	4.59	3.24	2.85	% obj.
nekapilární póry	P <sub>N</sub>	14.50	14.65	15.42	14.54	12.50	% obj.
provzdušenost	V <sub>Z</sub>	20.14	18.83	21.38	20.02	16.82	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K <sub>MKKVZ</sub>	15.77	15.69	16.84	15.75	13.51	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K <sub>RVKKVZ</sub>	19.43	18.41	20.01	17.78	15.35	% obj.

#### Příloha 4.4 Rozbor neporušeného půdního vzorku ze 4. výjezdu

hloubka odběru	h	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	cm
tara	T	97	99.95	93.94	97.24	92.19	g
bezprostředně po odběru	A	256.21	260.15	259.31	261.97	252.1	g
nasycený vzlín. vodou	B	266.1	267.6	268.15	268.94	260.71	g
odsávání na filtr. papíru -30 min	B <sub>30</sub>	263.63	266.44	266.06	267.08	257.82	g
odsávání na filtr. papíru -2 hod.	B <sub>2</sub>	262.04	265.18	264.56	265.8	256.3	g
odsávání na filtr. papíru-24 hod.	B <sub>24</sub>	257.63	261.65	261.43	263.56	252.98	g
vysušený při 105 °C	C	230.15	234.32	234.23	235.48	225.42	g
zdánlivá hustota půdních částic	$\rho_s$	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. neredukovaná	$\rho$	1.59	1.60	1.65	1.65	1.60	g.cm <sup>-3</sup>
objemová hmot. redukována	$\rho_d$	1.33	1.34	1.40	1.38	1.33	g.cm <sup>-3</sup>

momentální vlhkost	$\Theta$	26.06	25.83	25.08	26.49	26.68	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_s$	35.95	33.28	33.92	33.46	35.29	% obj.
30' vlhkost	$\Theta_{30}$	33.48	32.12	31.83	31.60	32.40	% obj.
max. vodní kapacita	$\Theta_{KMK}$	31.89	30.86	30.33	30.32	30.88	% obj.
retenční vodní kapacita	$\Theta_{RK}$	27.48	27.33	27.20	28.08	27.56	% obj.
pórovitost	P	49.94	49.48	47.26	48.03	49.91	% obj.
kapilární póry	P <sub>K</sub>	27.48	27.33	27.20	28.08	27.56	% obj.
semikapilární póry	P <sub>S</sub>	6.00	4.79	4.63	3.52	4.84	% obj.
nekapilární póry	P <sub>N</sub>	16.46	17.36	15.43	16.43	17.51	% obj.
provzdušenost	V <sub>Z</sub>	23.88	23.65	22.18	21.54	23.23	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K <sub>MKKVZ</sub>	18.05	18.62	16.93	17.71	19.03	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K <sub>RVKKVZ</sub>	22.46	22.15	20.06	19.95	22.35	% obj.

### Příloha 5.1 Nasycená hydraulická vodivost vzorků z 1. výjezdu

číslo vzorku	V	čas	h1	h2	Δh	L	F	q	Ks	Ks	Ks
	cm <sup>3</sup>	s	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	cm*s	cm.min <sup>-1</sup>	m.den <sup>-1</sup>
1	3.6	60	6.2	3.4	2.8	5	25	0.060	0.004	0.257	3.703
2	6	60	6.15	3	3.15	5	25	0.100	0.006	0.381	5.486
2	6.4	60	6.15	3.05	3.1	5	25	0.107	0.007	0.413	5.946
4	6	300	6	3.1	2.9	5	25	0.020	0.001	0.083	1.192
5	3.5	60	6.2	3.4	2.8	5	25	0.058	0.004	0.250	3.600
									0.005	0.277	3.985

### Příloha 5.2 Nasycená hydraulická vodivost vzorků z 2. výjezdu

číslo vzorku	V	čas	h1	h2	Δh	L	F	q	Ks	Ks	Ks
	cm <sup>3</sup>	s	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	cm*s	cm.min <sup>-1</sup>	m.den <sup>-1</sup>
1	2.5	60	6.4	3.8	2.6	5	25	0.042	0.003	0.192	2.769
2	3.2	60	6.4	3.8	2.6	5	25	0.053	0.004	0.246	3.545
3	5.4	60	6.5	3.8	2.7	5	25	0.093	0.007	0.415	5.760
4	4.8	60	6.5	3.8	2.7	5	25	0.080	0.006	0.356	5.120
									0.005	0.297	4.236

### Příloha 5.3 Nasycená hydraulická vodivost vzorků ze 3. výjezdu

číslo vzorku	V	čas	h1	h2	Δh	L	F	q	Ks	Ks	Ks
	cm <sup>3</sup>	s	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	cm*s	cm.min <sup>-1</sup>	m.den <sup>-1</sup>
1	6.2	60	6.5	3	3.5	5	25	0.133	0.006	0.457	5.102
2	5.9	60	6.4	3	3.4	5	25	0.137	0.006	0.482	4.998
3	7	90	6.4	3.3	3.1	5	25	0.078	0.005	0.301	4.335
4	5.9	120	6.8	3	3.8	5	25	0.067	0.003	0.211	2.236
									0.005	0.350	4.181

#### Příloha 5.4 Nasycená hydraulická vodivost vzorků ze 4. výjezdu

číslo vzorku	V	čas	h1	h2	Δh	L	F	q	Ks	Ks	Ks
	cm <sup>3</sup>	s	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	cm*s	cm.min <sup>-1</sup>	m.den <sup>-1</sup>
1	4.2	60.0	6.4	3.7	2.7	5	25	0.080	0.005	0.356	4.480
2	4.4	80.0	6.1	3.5	2.6	5	25	0.092	0.004	0.423	3.655
3	4.3	80.0	6.3	3.7	2.6	5	25	0.090	0.004	0.415	3.572
4	4.0	60.0	6.0	3.5	2.5	5	25	0.087	0.005	0.416	4.608
									0.005	0.392	4.099

**Příloha 6      Obsah organické hmoty ve vzorcích z 1. až 4. výjezdu**

č. výjezdu	číslo vzorku	hm. kelímku	hm. navážky	hm. kelímku a navážky	hm. kelímku a navážky po vysušení	hm. navážky po vysušení	obsah vody	hm. kelímku a navážky po vyžhání	hm. navážky po vyžhání	ztráta žháním	průměrná ztráta žháním	OC (organic carbon)	SI (stability index)
-	-	g	g	g	g	g	%	g	g	%	%	%	-
1	1	35.986	5.201	41.187	41.084	5.098	1.98	40.754	4.768	6.48	6.44	3.76	7.93
	2	37.227	5.159	42.386	42.284	5.056	1.99	41.960	4.733	6.40			
2	3	37.126	5.140	42.266	42.153	5.027	2.19	41.820	4.694	6.63	6.58	3.84	8.11
	4	36.334	5.173	41.507	41.393	5.059	2.20	41.062	4.729	6.54			
3	5	36.396	5.214	41.610	41.504	5.108	2.03	41.168	4.773	6.57	6.56	3.81	8.04
	6	35.822	5.165	40.986	40.882	5.061	2.01	40.550	4.729	6.56			
4	7	36.466	5.177	41.643	41.523	5.057	2.31	41.183	4.717	6.73	6.68	3.90	8.24
	8	35.996	5.164	41.160	41.040	5.044	2.31	40.705	4.710	6.64			